

# **MÁQUINA PELETIZADORA DE MATERIAL POLIMÉRICO RECICLABLE**

Emmanuel Contreras Quiroz  
emmanuel.contreras302@pascualbravo.edu.co

**Asesor:**

Elkin Mauricio González Montoya  
elkin.gonzalez@pascualbravo.edu.co

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
Facultad de Ingeniería Departamento de Mecánica  
Tecnología en Mecánica Industrial  
19/05/2025

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. <i>Formas de obtención de polímeros</i>	6
1.1.1. Policondensación	6
1.1.2. Polimerización	6
1.2. <i>Categorías de los polímeros</i>	8
1.2.1. Elastómeros	8
1.2.2. Termoestables	8
1.2.3. Termoplásticos	8
1.3. <i>Máquina peletizadora</i>	9
1.4. <i>Proceso de peletización</i>	10
1.4.1. Dosificación	10
1.4.2. Mezclado	10
1.4.3. Peletización	11
1.4.4. Secado	11
1.5. <i>Maquinas peletizadoras</i>	12
1.5.1. Peletizadoras de filamentos	12
1.5.2. Peletizadora de anillo	12
1.5.3. Peletizadora bajo el agua	13
<b>II. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>18</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
4.1. <i>Objetivo general</i>	20
4.1.1. Objetivos específicos	20
<b>V. PROCESO DE EXTRUSIÓN</b>	<b>21</b>
5.1. <i>Selección de Extrusora</i>	23
5.2. <i>Criterios de evaluación</i>	23
<b>VI. COMPONENTES DE LA LINEA DE EXTRUSIÓN</b>	<b>26</b>
6.1. <i>Enfriamiento</i>	26
6.2. <i>Desplazamiento</i>	26
6.3. <i>Tolva alimentadora</i>	27
6.4. <i>Cilindro o cuerpo de maquina</i>	27
6.5. <i>Cabezal</i>	29
6.6. <i>Boquilla</i>	30
6.7. <i>Plato rompedor</i>	30

6.8.	<i>Tornillo</i>	31
6.8.1.	Filetes	32
6.8.2.	Profundidad del filete en zona de alimentación	32
6.8.3.	Profundidad del filete en zona de dosificación	32
6.8.4.	Relación de compresión	32
6.8.5.	Longitud	33
6.8.6.	Diámetro	33
<b>VII. CALCULOS DE LOS COMPONENTES DE LA MAQUINA PELETIZADORA</b>		<b>34</b>
7.1.	<i>Cálculos de elementos del husillo</i>	34
7.2.	<i>Cálculo de ángulo de hélice del canal</i>	36
7.3.	<i>Cálculo del diámetro del husillo</i>	37
7.1.	<i>Cálculo de la longitud del husillo</i>	37
7.1.	<i>Cálculo de las zonas del husillo</i>	37
7.1.1.	Longitud de la zona de alimentación	38
7.1.2.	Longitud de la zona de compresión	39
7.1.3.	Longitud de la zona de dosificación o extrusión	39
7.2.	<i>Parámetros geométricos del husillo</i>	40
7.2.1.	Calculo para alturas de filetes	40
7.2.1.1.	Calculo para altura en la zona de alimentación	41
7.2.1.2.	Calculo para la altura en la zona de compresión	41
7.2.1.3.	Calculo para la altura en la zona de extrusión	41
7.2.2.	Calculo para las almas del husillo	41
7.2.2.1.	Calculo para el alma en la zona de alimentación	41
7.2.2.2.	Calculo para el alma en la zona de extrusión	41
7.2.3.	Calculo para ancho de canal	42
7.2.4.	Calculo para filete	42
7.2.5.	Calculo para el numero de filetes	43
7.2.6.	Resumen de parámetros geométricos calculados	43
7.2.7.	Viscosidad aparente	44
7.2.8.	Velocidad de giro del husillo	45
7.2.9.	Presión	46
7.2.10.	Diámetro del cilindro	46
7.2.11.	Garganta de alimentación	47
7.2.12.	Tolva de alimentación	49
7.2.13.	Cabezal	50
7.2.14.	Malla o boquilla de extrusión.	50
7.2.15.	Columna de apoyo	50
7.2.16.	Base	50
7.2.18.	Selección de resistencias	51
7.2.20.	Elementos de medición para temperatura	52
<b>VIII. CONCLUSIONES</b>		<b>53</b>

<b>IX. REFERENCIAS</b>	<b>54</b>
<b>X. ANEXOS</b>	<b>57</b>
10.1. <i>Explosionado</i>	58
10.2. <i>Husillo</i>	59
10.3. <i>Camisa</i>	60
10.4. <i>Malla</i>	61
10.5. <i>Cabezal</i>	62
10.6. <i>Base</i>	63
10.7. <i>Columna de apoyo</i>	64
10.8. <i>Tolva</i>	65
10.9. <i>Sujeción</i>	66

## I. INTRODUCCIÓN

En la naturaleza existen moléculas de gran magnitud, denominadas macromoléculas, constituidas por miles de átomos (Lopez, C, Francisco. 2004). En este caso, los polímeros, son tipos de macromoléculas caracterizados por poseer unidades repetitivas sobre la extensión de la molécula (Lopez, C, Francisco. 2004).

Los polímeros surgieron en Estados Unidos en 1860, luego que se hiciera una oferta de miles de dólares para quien pudiera sustituir el marfil en la elaboración de bolas para billar. John Hyatt venció, y logró inventar un polímero denominado celuloide, el cual dio origen a la industria cinematográfica. Años después apareció un hombre llamado Leo Baekeland quien inventó la reconocida baquelita, a este polímero se le denominó como el primer termoestable; era resistente al calor moderado, ácidos y agua, aparte se comportaba como aislante (Polimer Tecnic, 2016).

Para 1930 los científicos comenzaron a desarrollar los polímeros ahora conocidos, los cuales han marcado y dominan la industria. Químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo presión y acción de calor, a este lo agruparon en los termoplásticos y se le denominó polietileno (PE). (Flores, Carlos. 2009). Hacia los 50 se dio la aparición del polipropileno (PP), luego se dio el cloruro de polivinilo (PVC) el cual se constituía de reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro.

En el transcurso de los años los polímeros se han ido desarrollando de forma acelerada por sus respectivas propiedades, que han dado lugar a la aplicación industrial y cotidiana. En la actualidad los polímeros siguen siendo materia de investigación debido a las amplias posibilidades para aplicarse.

La obtención de este material es algo particular, pues generalmente las personas desconocen su procedencia. Los polímeros pueden ser obtenidos de diferentes formas, estas pueden ser bioproductos renovables o sintéticos, hechos del petróleo. En la gran mayoría los polímeros son obtenidos del crudo, más específicamente la nafta, por ello se entiende que el proceso de adquisición de este material comienza en las refinerías. (Plastic 85, 2021).

### **1.1. Formas de obtención de polímeros**

Tras no ser suficiente con obtener la nafta, es necesario que la materia prima forme un polímero, para esto se le realiza un enlace con otro monómero.

#### **1.1.1. Policondensación**

Proceso de reacción entre sustancias que reaccionan para obtener monómeros, de esta forma se logran encontrar dímeros, trímeros o tetrameros. (Wikiwand, retomado en 2024). Debido a la pérdida de masa según (Lopez, Francisca. 2019), decimos que el polímero está condensado con respecto a los monómeros.

#### **1.1.2. Polimerización**

Es la agrupación de monómeros de bajo peso molecular que permite la obtención de una molécula mayor. (Plastic 85, 2021).

El enfoque de este trabajo será el tratamiento de material polimérico llamado PET. Encontrado con facilidad debido a sus aplicaciones; algunas de ellas son las botellas o envases en donde se almacenan líquidos como refrescos, gaseosas, agua, entre otros.

Según (BMI Machines, sf), actualmente se estima que a nivel mundial se generan 12 millones de toneladas de PET con un aumento porcentual anual del 6%. Sin embargo (The Nature Conservancy, 2021) afirma que en el mundo 8 de cada 10 artículos encontrados en las playas son polímeros, entre ellos el Tereftalato de polietileno.

A pesar de que el PET es un tipo de polímero que se puede reciclar, el tratamiento previo a la peletización es riguroso, pues, al estar contaminado en su gran mayoría por fluidos o elementos de consumo humano, es necesario emplear medidas que necesitan de otros recursos como lo es el hídrico en grandes cantidades. Además, en el proceso para la desinfección se mezclan sustancias químicas con agua, por ello luego del proceso de la desinfección se desechan grandes cantidades de agua con mezclas químicas que inhabilitan la posibilidad de volver usarla (Metrohm, sf).

El uso de polímeros en la vida del ser humano relevante en la actualidad, pues, debido a sus propiedades son empleados en grandes sectores industriales, esto haría complejo dejar de usarlo repentinamente. Además, y como se mencionó anteriormente los polímeros son derivados del petróleo; esto representa un gran reto, pues las petroleras seguirán produciendo la materia prima de la que se obtienen los polímeros.

La peletización de materiales poliméricos, es una rama de la producción industrial que acompaña la reutilización de materiales plásticos como lo son los naturales, sintéticos, semi sintéticos, orgánicos, orgánicos vinílicos, orgánicos no vinílicos, e inorgánicos (Ondarse, A, Dianelys. 2021). Según sus características se clasifican en 3 categorías:

## **1.2. Categorías de los polímeros**

### **1.2.1. Elastómeros**

Los elastómeros son materiales que tienen la capacidad de estirarse y volver a su forma original, como si fueran una liga. Esta propiedad se debe a cómo están formados internamente: sus moléculas están unidas de manera que les permite moverse con libertad, pero sin separarse del todo. Aunque son un tipo de plástico, no son duros ni frágiles, por el contrario, son suaves y elásticos. Se usan en muchas cosas del día a día, como en las llantas de los autos, los empaques o los guantes, porque resisten bien el uso constante y se adaptan a diferentes formas sin romperse.

### **1.2.2. Termoestables**

Los materiales termoestables son un tipo de plástico que, una vez que se calientan y se endurecen, ya no pueden volver a ablandarse ni cambiar de forma. Esto sucede porque, durante su fabricación, sus componentes se enlazan entre sí de manera muy firme, formando una estructura muy resistente. Gracias a eso, soportan bien el calor, los golpes y algunos productos químicos. A diferencia de otros plásticos que se pueden derretir y moldear de nuevo, los termoestables conservan su forma para siempre. Por eso se usan en cosas como piezas de motores, carcasas de aparatos eléctricos o sartenes con recubrimiento.

### **1.2.3. Termoplásticos**

Los termoplásticos son un tipo de polímero que se ablanda al calentarse y se endurece al enfriarse, sin cambiar su composición química. Esto significa que se pueden moldear una y otra vez aplicando calor, lo que los hace muy versátiles y fáciles de reciclar. A nivel molecular, sus cadenas no están unidas de forma permanente, lo que permite que se deslicen entre sí cuando se calientan. Gracias a esta propiedad, los termoplásticos se usan ampliamente en envases, botellas,

juguetes, tuberías y muchas otras aplicaciones del día a día. Son comunes porque combinan ligereza, resistencia y facilidad de fabricación.

### **1.3.Máquina peletizadora**

Las máquinas peletizadoras, en esencia, realizan el proceso de comprimir plásticos. Un rodillo prensa actúa como extrusor (moledor), un cilindro trefilador compresor del material y unas cuchillas para cortar el material en pequeños trozos, en esferas o bolitas muy pequeñas (PCM, Staff. 2023). Estas máquinas sirven para llevar un polímero en diferentes formas, a pequeñas esferas que posteriormente partes de la industria utilizarán para fabricar hilos y prendas en industrias textiles, botellas o recipientes en industrias alimenticias, entre muchas más aplicaciones.

En este caso, donde el material a manipular es el Tereftalato de polietileno, se aumentan las posibilidades de aplicación para la producción de pellets, esto debido a la alta presencia en Colombia, (WWF, 2023) afirma que las cifras para Colombia rodean las 700.000 toneladas de plástico en presentación de botellas.

## **1.4. Proceso de peletización**

La peletización es un proceso utilizado en la industria del plástico para transformar el material fundido en pequeñas piezas sólidas llamadas pellets, que son fáciles de manejar, transportar y reutilizar en procesos de moldeo. Este procedimiento comienza cuando el polímero, ya sea virgen o reciclado, se calienta hasta fundirse y luego se empuja a través de una máquina llamada extrusora. Al salir por una boquilla con pequeños orificios, el material fundido se corta en fragmentos del mismo tamaño, que se enfrían rápidamente con agua o aire para solidificarse. Estos pellets son la forma más común en la que se comercializa y procesa el plástico antes de convertirse en productos finales.

### **1.4.1. Dosificación**

La dosificación es una parte clave en el trabajo con plásticos, ya que se trata de medir y agregar con exactitud las cantidades de materiales que se van a usar, como la resina base, los colorantes o algunos productos químicos que mejoran sus propiedades. Este paso se hace antes de que el material entre a las máquinas que lo transforman, y puede hacerse a mano o con equipos automáticos. Si no se dosifica bien, el resultado final puede salir con fallas, cambiar de color o no tener la resistencia esperada. Por eso, es un proceso muy importante para asegurar que el producto salga bien desde el inicio.

### **1.4.2. Mezclado**

El mezclado es una parte importante en la preparación de los plásticos, ya que en esta etapa se juntan la resina base con otros ingredientes como colorantes, polvos o líquidos que ayudan a mejorar sus propiedades. El objetivo es que todo quede bien combinado, para que el material sea uniforme y funcione correctamente. Esta mezcla se puede hacer cuando los materiales aún están

en forma de grano o polvo, o también cuando el plástico ya está caliente y derretido. Si no se mezcla bien, el producto final puede salir con partes más débiles, con mal color o con fallas al usarse.

### **1.4.3. Peletización**

En la extrusora, el material se calienta a alta temperatura hasta que se vuelve líquido y luego es empujado por un tornillo sin fin hacia una boquilla, donde se le da la forma deseada, como una lámina, tubo o perfil. Una vez que el plástico pasa por la boquilla, se enfría rápidamente, solidificándose en su nueva forma. Este proceso se utiliza ampliamente para producir productos plásticos continuos como tuberías, láminas, cables y otros componentes que se cortan o moldean según sea necesario.

### **1.4.4. Secado**

El proceso de secado en la fabricación de plásticos es esencial para eliminar la humedad que los materiales puedan haber absorbido antes de ser procesados. Muchos plásticos, sobre todo los que se reciclan o los que tienen una tendencia natural a absorber agua, pueden tener problemas si no se secan bien, ya que la humedad puede interferir en la forma en que se moldean o extruyen. Para evitar que esto ocurra, los materiales se ponen en secadores donde el calor o el aire caliente ayudan a quitar el agua. Si no se hace bien este paso, el plástico podría tener burbujas o fallas en su estructura, lo que afectaría su calidad.

## **1.5. Maquinas peletizadoras**

Las máquinas peletizadoras son equipos que transforman plástico fundido en pequeños gránulos llamados pellets. Se usan al final de una línea de extrusión y funcionan empujando el material a través de una boquilla, donde es cortado por cuchillas rotativas. Luego, los pellets se enfrían y se secan para su almacenamiento o reutilización. Son esenciales en procesos de reciclaje y compounding, y su diseño varía según el tipo de plástico y método de corte.

### **1.5.1. Peletizadoras de filamentos**

Las peletizadoras de filamentos son equipos utilizados para cortar filamentos continuos de plástico fundido en pellets de tamaño uniforme. Estos sistemas forman parte de una línea de extrusión, donde el polímero es extruido en forma de hebras o filamentos que pasan por un sistema de enfriamiento (normalmente en baño de agua) y luego son arrastrados hacia una unidad de corte. En esta unidad, cuchillas rotativas cortan los filamentos en gránulos cilíndricos. Este tipo de peletizadora es común en el procesamiento de polímeros como PE, PP y PET, y es ideal cuando se requiere alta precisión en el tamaño del pellet y una buena calidad superficial.

### **1.5.2. Peletizadora de anillo**

Las peletizadoras de anillo son sistemas de corte utilizados en líneas de extrusión, donde el plástico fundido es empujado a través de una boquilla con múltiples orificios y, al salir, es cortado inmediatamente por cuchillas montadas en un rotor que gira sobre un anillo en contacto con la cara caliente del dado. Los pellets se forman al instante y son arrastrados por un flujo de agua que los enfría y transporta hacia un separador y secador. Este tipo de peletizadora es eficiente para producciones continuas de polímeros como PE, PP, PS o PA, y es especialmente útil cuando se requiere un corte preciso y alta capacidad de producción.

### **1.5.3. Peletizadora bajo el agua**

Las peletizadoras bajo el agua son sistemas de corte en los que el plástico fundido se extruye a través de una boquilla y es cortado inmediatamente por cuchillas giratorias dentro de una cámara llena de agua. El agua cumple una doble función: enfría los pellets al instante y los transporta hacia un sistema de separación y secado. Este tipo de peletizado es ideal para materiales de alto rendimiento o de alta viscosidad, y permite una producción continua con pellets de forma y tamaño uniforme. Se utiliza ampliamente en procesos de compounding y producción de polímeros técnicos como PA, TPU y PBT.

**Palabras Claves:** Tereftalato de polietileno, macromolécula, pellet, polímeros, peletizado, reciclables.

## II. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia anualmente se generan unas 700.500 toneladas de botellas y envases de plástico (WWF, 2023), sin embargo, el reciclaje para esta cantidad producida en el año 2021 no se acercaba ni siquiera al 50%, pues se encontraba por debajo con un 30% sobre la producción de polímeros latentes. La WWF (World Wildlife Fund) afirma que según estudios realizados desde 1950 el 75% del plástico producido a nivel mundial ha terminado en residuos que luego llegan al medio ambiente y los océanos.

Por ello, es indispensable buscar herramientas que permitan tratar y manipular estos residuos generados y así disminuir la presencia de plásticos en forma de contaminantes en la extensión mundial. Poder expandir este pensamiento en el territorio nacional y llegar a disminuir los porcentajes de materiales poliméricos sin ser aprovechados o sin darles diversos usos es de vital importancia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

En países como México la producción de plástico en forma de botella tiene magnitudes más grandes según (Sanchez, Alicia. sf). De los 9 mil millones de botellas producidas en este país, 900 millones terminan en bosques, ríos, playas y ecosistemas en donde la presencia de este material no debería presentarse. (Sanchez, Alicia. sf)

En la actualidad existe una “isla” conformada por material plástico en la extensión del océano Pacífico. Tiene una dimensión de 1.6 millones de Km<sup>2</sup> (para considerar esto es 3 veces el tamaño de Francia) y es alarmante pues (Aqua Fundación, 2021) afirma que ha ido creciendo dieciséis veces más que estudios realizados previamente. Para el año 2021 las dimensiones eran de 80.000 toneladas de material polimérico.

Debido a esta gran problemática la WWF (World Wildlife Fund) en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia lanzaron el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de un solo uso construido por el sector productivo y la academia, con el fin de establecer años y cifras para el correcto reciclaje de los materiales poliméricos generados en el territorio nacional. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2021).

Para contrastar la situación, en el año 2021 El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) afirmó que solo el 9% de los 9.000 millones de toneladas de polímeros producidas en la historia han sido recicladas, el resto ha terminado en sitios alejados a la debida disposición final (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2021). Los cálculos que acompañan esta afirmación fueron desarrollados y entregados por El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en el año 2019.

Según el estudio, de no cambiar la forma en que se consume y en prácticas para la gestión de desechos, en el año 2050 habrán unas 12 millones de toneladas de basura plástica en vertederos y el medio ambiente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS],2021).

Debido a esto, Colombia se apuntó en la apuesta paulatina de llegar a reciclar el 100% de los residuos producidos por polímeros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2021). Según la directora de Asuntos Urbanos y Ambientales de la entidad Andrea Corzo, este proceso se dividirá en 3 fases, en las que se irá concientizando y reciclando de manera más responsable. Las 3 fases se dividirán para los siguientes años: **2023, 2025 y 2030.**

La directora del MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) para el año 2021 afirmó que, las instituciones han ido avanzando en un proceso de economía circular para la sustitución de estos elementos. Para validar esta información el MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) se entregaron datos que reconocen que, en Colombia para el mismo año, se ha aprovechado 160.000 toneladas anuales de materiales poliméricos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS],2021).

En relación con la situación actual sobre los residuos generados por elementos poliméricos que no se reciclan correctamente, la Institución Universitaria Pascual Bravo también ha planteado un Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS) en el cual se busca, seleccionar los residuos sólidos correctamente y poder aprovechar el reciclaje de los mismos, con herramientas de monitoreo y seguimientos procesos eficientes y tecnológicos que promuevan el desarrollo sostenible. (Institución Universitaria Pascual Bravo, sf).

Para el desarrollo de este proyecto la IUPB (Institución Universitaria Pascual Bravo) designó esta labor a un ente enfocado en la evaluación y corrección de los procesos de reciclaje y aprovechamiento de residuos sólidos generados en la Institución (IUPB, sf). Esta entidad llamada Gestión Ambiental de la IUPB, prioriza las oportunidades de reutilizar los residuos; de no ser aptos para reutilización, estos son recolectados por la Cooperativa Multiactiva de Recicladores (RECIMED) y llevados a destinos donde cuenten con las herramientas necesarias para darles un segundo ciclo de uso. (IUPB, sf).

Gestión Ambiental del Pascual Bravo, informa mensualmente los residuos recolectados en la Institución y entrega un informe sobre cantidades y tipos de desechos obtenidos por parte de RECIMED (Cooperativa Multiactiva de Recicladores de Medellín). Sebastián López, contratista para la Dirección Técnica de Planeación y Aseguramiento de la Calidad en el año 2024 entrega los siguientes valores recolectados para los primeros 4 meses del mismo año.

**Tabla 1**

Datos obtenidos a partir de recolección de información sobre residuos de IUPB por fuente propia.

<b>Tipo de Residuo</b>	<b>Enero 2024</b>	<b>Febrero 2024</b>	<b>Marzo 2024</b>	<b>Abril 2024</b>
<b>PET</b>	<b>61,7 kg</b>	<b>419,3 kg</b>	<b>450,1 kg</b>	<b>415,8 kg</b>
<b>Valor Promediado Enero 2024 – Abril 2024</b>			<b>336,725 kg</b>	

Los valores consignados en esta tabla son fuente de Gestión Ambiental de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Estos datos están comprendidos entre enero y abril del año 2024, semestre 1. (Gestión Ambiental de la IUPB, 2024)

### III. JUSTIFICACIÓN

Las maquinas peletizadoras de material polimérico reciclable son un gran aporte al reciclaje, pues, permiten procesar los residuos generados en material plástico (Tereftalato de polietileno). (PCM, Staff. 2023)

Para poder reducir la aglomeración de este material en ecosistemas como playas, bosques, entre otros es necesario aplicar herramientas destinadas al procesamiento de reciclaje, esto permitirá reducir de manera significativa las cifras existentes de plásticos hacinados. Lo anterior se verá reflejado en la medida que los países a nivel mundial decidan implementar las políticas de tratamiento adecuado para material polimérico, en especial envases y botellas plásticas (WWF, 2023).

Tal y como lo propone el MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) en conjunto con la WWF (World Wildlife Fund), las herramientas que permitan reciclar estos materiales plásticos serán de gran relevancia, con mayor fuerza en estos momentos cuando son políticas propuestas quienes están direccionando la generación de polímeros, y de ser así también regulando la producción del mismo. (WWF, 2023)

En Colombia, compañías como Coca-Cola, Carvajal, Nestlé, entre otros ya se han sumado a la nueva propuesta que permitirá tener una economía circular y cambiar el término “residuos” para hacer alusión al material polimérico descartado en las diversas compañías. De esta manera las empresas también podrán reducir costos y plantearse ahorros en la obtención de materiales. (WWF, 2023)

Como se mencionó anteriormente, la IUPB es una Institución dedicada a la innovación y transformación; con esta tesis se pretende aportar localmente en el procesamiento de botellas plásticas desde el interior de la misma, esto mediante herramientas que permitan la recolección, separación, procesamiento y direccionamiento a empresas dedicadas a darle un enfoque con mayor dimensión.

Por otro lado, se reitera que en este trabajo se hablará siempre enfocado al poliéster. En un principio, “los científicos comenzaron a explorar fibras sintéticas como alternativas a los materiales naturales. En 1941, los químicos británicos John Rex Whinfield y James Tennant Dickson descubrieron el tereftalato de polietileno (PET), el polímero que se convertiría en la base del poliéster. Estaban investigando nuevos materiales para películas y fibras y descubrieron que el PET tenía excelentes propiedades para estas aplicaciones.” (Molde Ruitai, sf).

Los poliésteres tienen una gran variedad específica; esta va desde el PET (tereftalato de polietileno), PCDT (tereftalato de poli-1,4-ciclohexileno-dimetileno), PTT (tereftalato de politrimetileno), PBT (tereftalato de polibutileno), (polietilenglicol tereftalato).

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1.Objetivo general**

- Calcular y diseñar una máquina peletizadora para polímero reciclable ideal en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

#### **4.1.1. Objetivos específicos**

- Identificar las variables en el proceso de extrusión de PET.
- Realizar los cálculos para el diseño de una maquina extrusora de tornillo.
- Dimensionar la maquina peletizadora ideal para la obtención de pellets de botellas plásticas PET recicladas.
- Presentar diseños conceptuales que permitan reconocer la estructura de la máquina.

## V. PROCESO DE EXTRUSIÓN

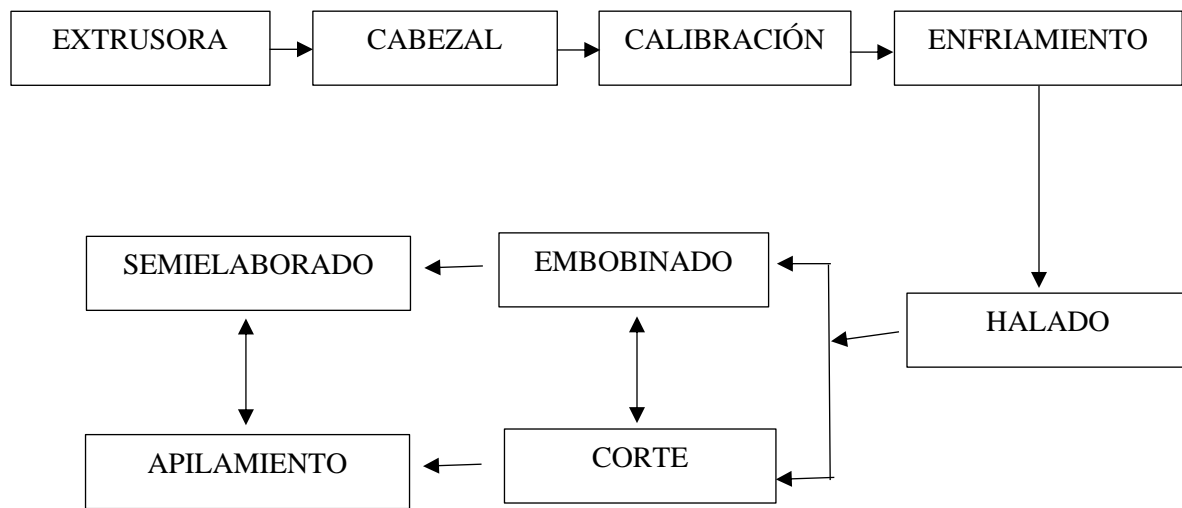
La materia prima de la extrusión de plásticos son los polímeros. En la década de los 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplásticos al que llamaron polietileno (PE). Alrededor de los años 50 aparece el polipropileno (PP) al reemplazar en el etileno un átomo de hidrogeno por uno de cloruro; allí se produjo cloruro de polivinilo (PVC) (Gutierrez, Paola & Bornacelli, Jimmy, 2008).

La máquina extrusora es el primer elemento sobre cualquier línea de extrusión. Un material polimérico alimenta el tornillo extrusor o husillo, quien se encarga de moverlo longitudinalmente a lo largo de un barril o cilindro, el cual posee una serie de resistencias que calienta y someten el polímero a una temperatura critica (pastosa) y posteriormente sale a través de un dado o boquilla. Se debe enfriar de manera rápida para lograr mantener la forma establecida por medio del dado.

Existe una amplia variedad de máquinas extrusoras, las cuales tienen diversas funciones y suplen unas necesidades para demandas específicas. A continuación, se nombrarán los tipos de extrusoras:

- Extrusoras doble husillo
- Extrusoras mono husillo
- Extrusoras co-extrusoras

Para la selección de una extrusora se debe identificar la cantidad de material polimérico (volumen) que se pretende procesar, esto debido a una correcta selección; a fin de no sobre dimensionar o errar el tipo y capacidad de extrusora. El siguiente esquema ilustrará la manera más recomendada según (Gutierrez Paola - Jimmy Bornacelli, 2006) para hacer la selección y el proceso de diseño de la maquina antes nombrada.



### **5.1. Selección de Extrusora**

Para la selección del tipo de máquina extrusora se usarán una serie de parámetros relacionados con la fabricación y costo. Dichos parámetros servirán para filtrar de manera escalonada las opciones propuestas, y permitirán selección acertada.

- **Opción A:** Extrusoras mono husillo
- **Opción B:** Extrusoras doble husillo
- **Opción C:** Extrusoras co-extrusoras

### **5.2. Criterios de evaluación**

Se establecerán unos valores cuantitativos para el proceso de selección, donde el autor definirá conceptos y valores que le servirán para la definición del criterio más acertado de la máquina peletizadora.

- **Excelente:** 5
- **Bueno:** 4
- **Considerable:** 3
- **Regular:** 2
- **Inadecuada:** 1

Estos valores cuantitativos se ajustarán según el criterio del autor de este documento, por lo que una calificación de 3, significa que es la mejor opción para el objetivo del mismo; 2 será una opción que suple la necesidad, pero no logra tener un valor significativo, y por último 1 será la opción menos acertada para el cumplimiento de los objetivos.

**Tabla 2**

Ponderación para selección de maquina extrusora (Autor, 2025)

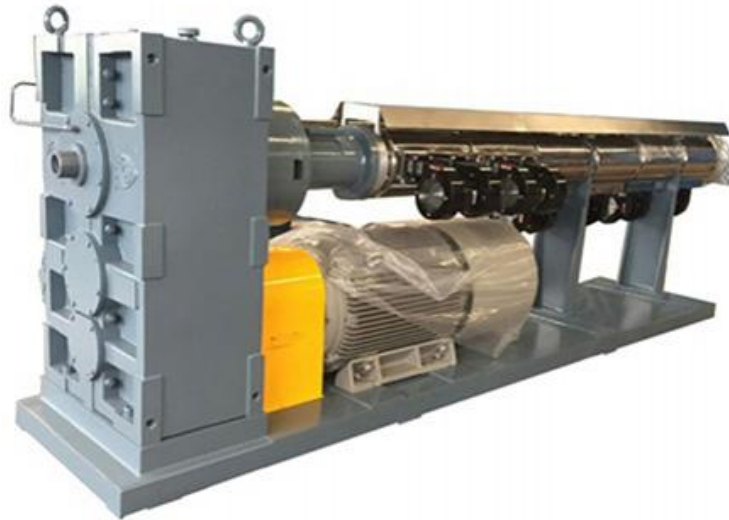
<i><b>Crterios de selección</b></i>	<i><b>Opción A</b></i>	<i><b>Opción B</b></i>	<i><b>Opción C</b></i>
<b>Costo</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Construcción</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Mantenimiento</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>Eficiencia</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Precisión</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>15</b>

A partir de los resultados obtenidos de la tabla anterior se plantea usar la opción 1 (extrusora mono husillo), pues se encuentra más idónea para cumplir los objetivos propuestos.

A continuación, se presentarán en la figura 1 los elementos que componen la línea de extrusión para una extrusora mono husillo. Esta máquina será la que se empleará para el desarrollo de este trabajo por su eficiencia y rapidez de ensamble.

**Figura 1**

Extrusora mono husillo



*Nota.* En la figura se muestra una maquina extrusora mono husillo. Tomado de *extrusora mono husillo*, omega (2024) <http://yykextruders.com/1-3-single-screw-extruder.html>

## **VI. COMPONENTES DE LA LINEA DE EXTRUSIÓN**

### **6.1. Enfriamiento**

Cuando el material polimérico sale fundido por la boquilla o dado ya posee una forma similar al producto final. Sin embargo, es necesario refrigerar este material para crear una película sólida que le permita soportar las cargas y fuerzas de tracción, en este proceso el material se contrae y reduce su tamaño sobre el espesor de las paredes.

### **6.2. Desplazamiento**

En los tipos de extrusoras se reconocen dos medios de transporte, por medio de los cuales el material polimérico se logra trasladar y mover al interior del cilindro mientras el material es llevado a altas temperaturas por medio de resistencias escalonadas que hacen que el material llegue al punto de ser “pastoso” y es así como se puede alcanzar de manera óptima la posibilidad de tratar con el polímero.

- Extrusoras de desplazamiento positivo
- Extrusoras de fricción viscosa

Para este caso, se usará la extrusión por medio de fricción viscosa. El PET es un plástico con temperatura de fusión de 260°C según (Extrulam, sf), donde la transición vítrea es superior a los 60°C; esta transición representa que el polímero pasa de un estado vítreo a un estado amorfo.

### **6.3.Tolva alimentadora**

Depósito de materia prima donde se dispone el material picado para alimentar continuamente el extrusor. Su diseño y dimensiones deben ser completamente funcionales, en algunas ocasiones estas tolvas deben poseer un sistema vibratorio que evite atascamientos y paros en la producción.

### **6.4.Cilindro o cuerpo de maquina**

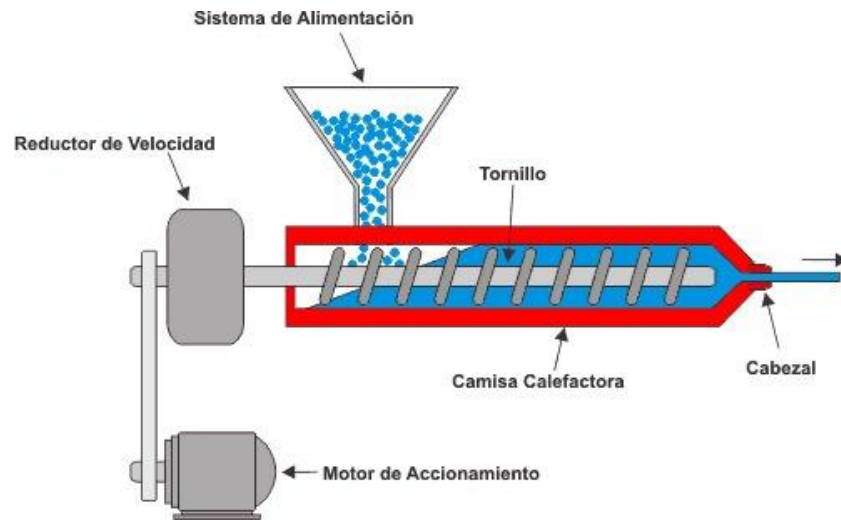
Cilindro de material metálico que sirve de alojamiento para el husillo. En este elemento se da el transporte y procesamiento del material polimérico, por ello, el material del que se fabrique debe ser capaz de resistir la corrosión y la abrasión durante la operación. Por lo general este material posee una alta dureza y resistencia al desgaste.

La selección y el cálculo de este componente jugará un papel de vital importancia, pues allí, se define la relación L/D (Gutierrez Paola - Jimmy Bornacelli, 2006). Mientras en las poliolefinas la relación L/D esta entre 20 y 24, para los poliésteres la relación longitud/diámetro esta comprendida entre 20:1 y 30:1. (Plastics Engineering Third Edition, sf).

Cuando la distancia de este tornillo se excede o se sobredimensiona esto da genera que el tornillo falle o se vea sometido a cargas que intenten fatigarlo, además se debe garantizar el flujo en un estado constante del material, pues, al tener una relación L/D errónea el polímero no se encuentre en condiciones óptimas para extruirse por enfriamiento y solidificación prematura.

## Figura 2

Representación del sistema de extrusión de plásticos



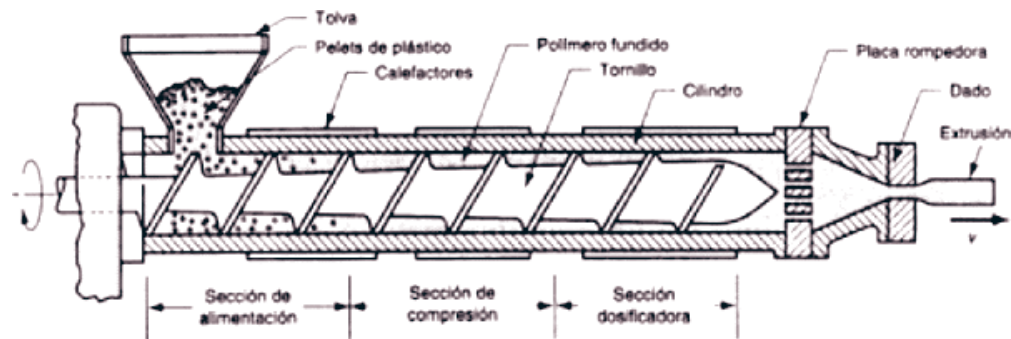
*Nota.* En la figura se representan las ubicaciones en donde se desarrolla el proceso de extrusión de plásticos. Tomado de *Extrusión de plásticos*, SumiParts (sf) <https://sumiparts.com/servicios-de/extrusion-de-plastico/>

## 6.5.Cabezal

Sobre este componente se consideran los tipos de boquillas y platos rompedores; estos elementos son partes móviles que comúnmente se remueven con facilidad y se reemplazan según las necesidades. Por recomendación de (Gutierrez Paola - Jimmy Bornacelli, 2006) se deben evitar perfiles con un ángulo excesivamente convergentes, pues a mayor viscosidad del termoplástico más agudo debe ser el ángulo del perfil para adaptarse a las líneas del flujo del material.

**Figura 3**

Partes detalladas de una maquina extrusora



*Nota.* En esta figura se detallan diversas partes de la maquina extrusora, incluyendo las diferentes zonas de trabajo. Tomado de *Extrusión de Polímeros, ¿Qué es y cómo funciona?*, Alyn Flores (sf) <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Extrusor-de-polimeros-que-es-y-como-funciona>

## 6.6.Boquilla

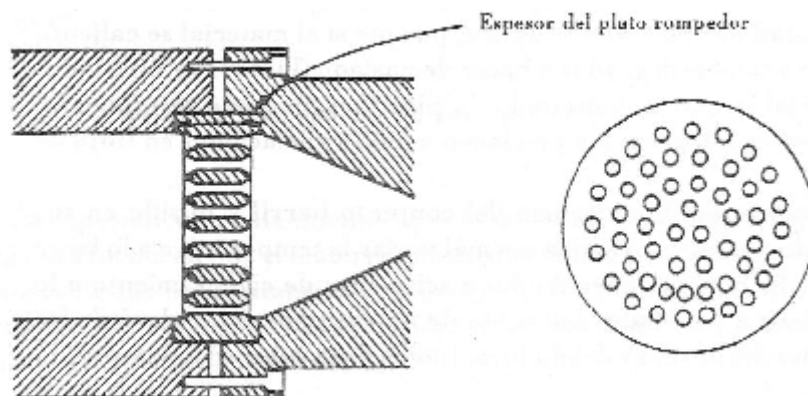
Ubicada en el cabezal, este componente conforma finalmente el material plástico. A través de la boquilla fluye el material fundido sumamente viscoso y con características no-newtonianas, por lo que la relación entre la viscosidad y la velocidad de cizalladura no es lineal. (Gutierrez Paola - Jimmy Bornacelli, 2006).

## 6.7.Plato rompedor

Ultimo elemento del final del cilindro, evita el contacto entre el cilindro y el cabezal. Este plato rompedor posee una cantidad de agujeros taladrados, el diámetro de cada agujero varía generalmente entre 3 a 5 mm. También tiene como función aumentar la presión, el flujo rotacional del plástico fundido.

### Figura 4

Representación del plato rompedor



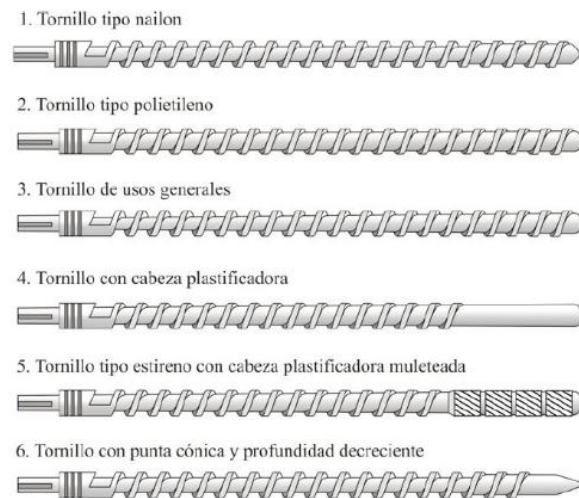
*Nota.* En esta figura se detalla el plato rompedor. Tomado de *Guía de Laboratorio y Elaboración del Manual de Operación de una Máquina Extrusora de Películas de Polietileno*, Andres Rigail (sf) [https://Guia\\_de\\_Laboratorio\\_y\\_Elaboracion\\_del\\_Manual\\_de\\_Op.pdf](https://Guia_de_Laboratorio_y_Elaboracion_del_Manual_de_Op.pdf)

## 6.8.Tornillo

Para el desarrollo se tomará como referente un tornillo para Polietileno, sin embargo, se ajustará para el óptimo funcionamiento del mismo, en función del Tereftalato de polietileno (PET).

### Figura 5

Tipos de tornillos para extrusión



*Nota.* listado e ilustración de los tipos de tornillos para extrusión. Tomado de <https://www.husillos.com.mx/productos/extrusi%C3%B3n/>

### **6.8.1. Filetes**

Son encargados de impulsar el material en diferentes estados a lo largo del cuerpo de máquina. Sus formas y dimensiones determinarán el material a procesar y calidad de mezclado de la masa. (Gutierrez Paola - Jimmy Bornacelli, 2006).

### **6.8.2. Profundidad del filete en zona de alimentación**

Distancia comprendida entre la raíz del husillo y el extremo del filete. Para esta zona los filetes generalmente deben ser muy pronunciados pues tienen como objetivo movilizar alta cantidad del material dentro del cilindro. En esta parte el material no logra fundirse aún, por lo que se debe tener claro que en esta sección se transportará aire y material polimérico en estado sólido.

### **6.8.3. Profundidad del filete en zona de dosificación**

Por lo general esta profundidad es menor que la profundidad de alimentación, pues se ejerce una compresión y calentamiento. Gracias a esto se logra expulsar el aire que se contiene dentro del cilindro, específicamente en la zona de dosificación.

### **6.8.4. Relación de compresión**

Debido a la irregularidad en las profundidades de los filetes cada material tiene una capacidad de fluir diversa a otros, por ello se diseñan teniendo este componente en cuenta. “La relación entre la profundidad del filete en la alimentación y la profundidad del filete en la descarga, se denomina relación de compresión. El resultado de este cociente es siempre mayor a uno y puede llegar incluso hasta 4.5 en algunos materiales.” (Gutierrez Paola - Jimmy Bornacelli, 2006)

### 6.8.5. Longitud

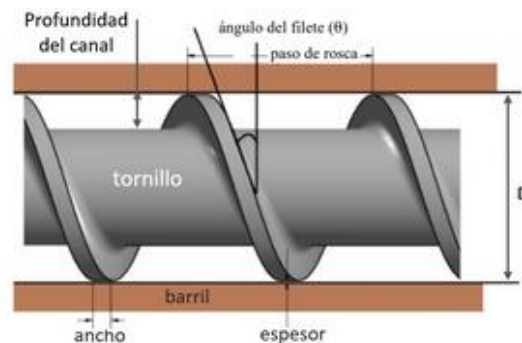
La longitud juega un papel muy crítico en el proceso de extrusión del PET. Debe aclararse que lo dicho en párrafos anteriores respecto a los defectos por relación de L/D pueden ser malos debido a pérdida de temperaturas se hace referente a un tornillo donde no se cuenta con la capacidad de mantener temperaturas en zonas constantes; por el contrario, si tenemos un cilindro que mantenga constante las temperaturas será de gran ayuda y la dosificación y mezclado del material se elongará por lo que se tendrá una longitud y temperatura de homogenización, sobre la cual se podrá extruir posteriormente por el dado un PET de mayor calidad.

### 6.8.6. Diámetro

Este parámetro influye directamente en el proceso de producción de la maquina y se aumenta proporcionalmente según varia la longitud. Al aumentar las dimensiones de este componente para afectar la productividad la longitud del husillo se debe aumentar para garantizar la plastificación del material (PET).

## Figura 6

Componentes geométricos de los husillos



*Nota.* Ilustración de los componentes geométricos de los husillos. Tomado de *Extrusión de polímero, Mexpolimeros* (sf) <https://www.mexpolimeros.com/pro/extrusion.html>

## VII. CALCULOS DE LOS COMPONENTES DE LA MAQUINA PELETIZADORA

### 7.1.Cálculos de elementos del husillo

**Figura 7**

Parámetros geométricos de los husillos en mm

Diámetro $D$	Pase $t$	Profundidad del canal en la zona de alimentación, $h_1$	Profundidad del canal en la zona de extrusión, $h_2$	Anchura de la cresta del filete, $e$
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

*Nota.* En esta tabla podemos encontrar los valores recomendados para la transformación de Polietileno. Tomado de *SABGORODNY, V.K. (1973). Transformación de plásticos; p.17*

Los valores de esta tabla se dan en milímetros (**mm**) y son desarrollados para Polietileno.

Según fabricantes de husillos para extrusión la longitud/diámetro (**L/D**) recomendada para el Polietileno es de **24:1** a **36:1**.

Para el desarrollo y cálculo de esta tesis partiremos de la capacidad de generación de PET en la Institución Universitaria Pascual Bravo planteada en la **Tabla 1**. donde promediamos la generación mensual, siendo un valor de **336,725 kg**. En una ecuación donde relacionaremos la producción mensual promediada en la cantidad de días de servicio de la Institución, obtendremos los siguientes resultados:

$$M_D = \frac{G_M}{D_S} \quad (1)$$

- $M_D = \text{Material a procesar por día}$
- $G_M = \text{Generación de material mensual}$
- $D_S = \text{Días de servicio}$

$$M_D = \frac{336,725 \text{ Kg}}{20 \text{ días}}$$

$$M_D = 16,84 \text{ Kg/día}$$

La cantidad de material a procesar por día es de **16,84 Kg**, sin embargo y con visión la constante ampliación de aforo en la Institución se aumentará esta cantidad de material en un **200%**, para garantizar que el dimensionamiento de la maquina sea idóneo y funcione aun cuando la generación de residuos PET aumente.

$$M_D = 16,84 \text{ Kg} + 33,68 \text{ Kg} = 50,52 \text{ Kg/día} \quad (1)$$

En total la cantidad de material a procesar por día será de **50,52 Kg/día**.

La situación se calculará para un tiempo de funcionamiento de **5 horas** por día, para calcular la cantidad de material a procesar como flujo a volumétrico a procesar cambiaremos **Kg/día a Kg/horas**, esto se hará de la siguiente manera:  $Q = M_D$

$$M_D = 50,52 \frac{Kg}{día} * \frac{día}{24 horas} * 5 = 10,525 \frac{Kg}{hora} \quad (1)$$

$$Q = 10,525 \frac{Kg}{hora} \quad (1)$$

Para este caso, el valor del diámetro será de **32 mm** según lo recomienda (Savgorodny, 1973). Así que, el diámetro que usaremos para nuestro husillo será de **32 mm** y la relación **L/D** será de **24**. Según esto la longitud-diámetro ideal es de **24**, posteriormente se calculará la longitud y allí estarán dispuestas las 3 zonas necesarias para el proceso de extrusión de plásticos.

## 7.2.Cálculo de ángulo de hélice del canal

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{t}{\pi(D)} \right) \quad (2)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{5 mm}{\pi (5mm)} \right) \quad (2)$$

$$\varphi = 17,66^\circ \quad (2)$$

Generalmente, los pasos de los husillos comerciales son iguales al diámetro del husillo, por lo que esto permite conocer valores con mayor eficiencia. En este caso al usar un husillo comercial, el paso será igual al diámetro, así,  $t = D$

### 7.3.Cálculo del diámetro del husillo

En esta ocasión ya se conoce el valor del diámetro, pues se diseñará esta máquina con parámetros recomendados por (Savgorodny, 1973), **Imagen 1**.

$$D = 32 \text{ mm} \quad (3)$$

### 7.1.Cálculo de la longitud del husillo

Usaremos valores como **diámetro del husillo** y la relación **longitud-diámetro**, de la cual se despejará la longitud de la siguiente forma.

$$\frac{L}{D} = 24 \rightarrow L = 24 * D \quad (3)$$

$$L = 24 * 32 \text{ mm} \quad (3)$$

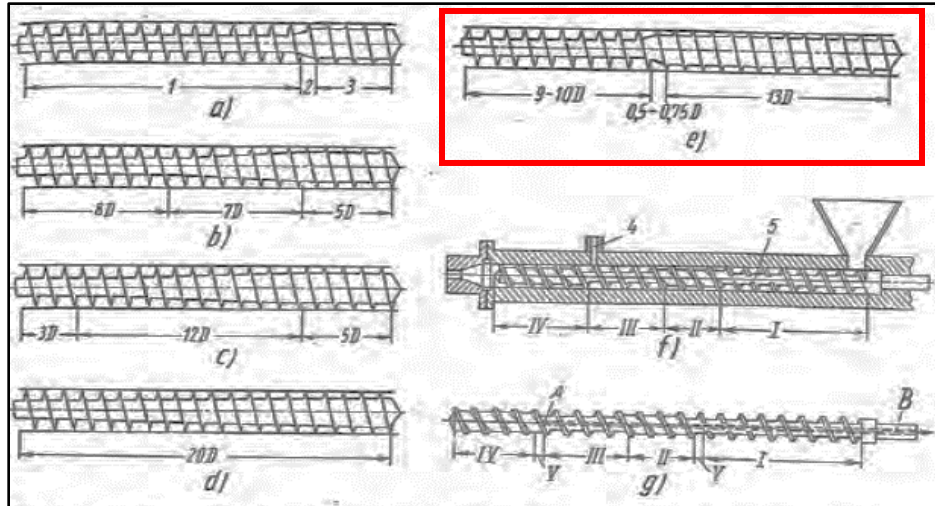
$$L = 768 \text{ mm} \quad (3)$$

### 7.1.Cálculo de las zonas del husillo

Será un husillo de 3 zonas; alimentación, compresión corta y extrusión, pues, según Savgorodny “Para la transformación de Polietileno resultan muy efectivos con zona de alimentación igual a (9/10) D y de compresión corta igual a (0,5/0,75) D (fig. 8e). La zona de extrusión de 13D de longitud garantiza la buena homogeneización del material” (Savgorodny, 1973).

## Figura 8

Longitudes de zona husillos según el material a trabajar



*Nota.* Descripción de las longitudes usadas según el tipo de material a extruir. Tomado de *Transformación de plásticos*, por Savgorodny, Gustavo Gili S.A. (1973).

Las áreas de alimentación y dosificación deben mantener un diámetro constante en el núcleo del husillo, mientras que la zona de compresión presentará un diámetro variable en el núcleo. Sin embargo, el diámetro total (núcleo + filete) será constante a lo largo de todo el husillo.

### 7.1.1. Longitud de la zona de alimentación

Para este caso, se tiene la posibilidad de escoger entre 9 ó 10 veces el diámetro. El factor que multiplicará el diámetro será 10, y se resuelve se la siguiente forma:

$$L_A = 9 * D \rightarrow L_A = 10 * 32 \text{ mm} \quad (4)$$

$$L_A = 320 \text{ mm} \quad (4)$$

### 7.1.2. Longitud de la zona de compresión

Se puede seleccionar entre multiplicar el diámetro por 0,5 o por 0,75. El factor que se utilizará para multiplicar el diámetro será 0,75, y se calcula de la siguiente manera:

$$L_C = 0,75 * D \rightarrow L_C = 0,75 * 32 \text{ mm} \quad (5)$$

$$L_C = 24 \text{ mm} \quad (5)$$

### 7.1.3. Longitud de la zona de dosificación o extrusión

Según Savgorodny en esta zona la longitud debe ser el diámetro multiplicado por 13, y se resuelve así:

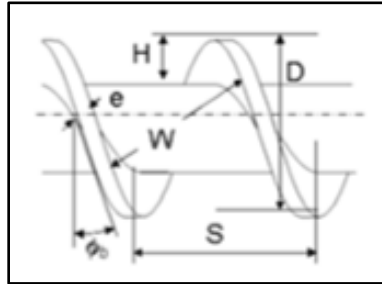
$$L_E = 13 * D \rightarrow L_E = 13 * 32 \text{ mm} \quad (6)$$

$$L_E = 416 \text{ mm} \quad (6)$$

A continuación, se calcularán parámetros geométricos como filetes, altura de filete, ancho de canal, entre otros.

## Figura 9

Parámetros geométricos para husillos



Nota. Ilustración de los parámetros geométricos para husillos. Tomado de *Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras mono husillo [Trabajo de investigación]*, por Gutiérrez, Bornacelli, Universidad Autónoma de Occidente (2008).

### 7.2. Parámetros geométricos del husillo

#### 7.2.1. Cálculo para alturas de filetes

Se usará una imagen (**Figura 7**) desarrollada por Savgorodny, sin embargo, solo se podrá usar para la zona de alimentación y la zona de extrusión pues sus diámetros son constantes, mientras que la zona de compresión tiene un diámetro variable.

Diámetro $D$	Pase $t$	Profundidad del canal en la zona de alimentación, $h_1$	Profundidad del canal en la zona de extrusión, $h_2$	Anchura de la cresta del filete, $e$
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

### 7.2.1.1. Calculo para altura en la zona de alimentación

Para un diámetro de 32 mm los valores ya se encuentran reflejados, por lo que contamos con las alturas necesarias del husillo.

$$h_1 = 6 \text{ mm} \quad (7)$$

### 7.2.1.2. Calculo para la altura en la zona de compresión

$$h_2 = \frac{h_1 - h_3}{2} \quad (8)$$

$$h_2 = 2,05 \text{ mm} \quad (8)$$

### 7.2.1.3. Calculo para la altura en la zona de extrusión

$$h_3 = 1,9 \text{ mm} \quad (9)$$

## 7.2.2. Calculo para las almas del husillo

### 7.2.2.1. Calculo para el alma en la zona de alimentación

$$d_1 = D - (2 * h_1) \rightarrow d_1 = 32 \text{ mm} - (2 * 6 \text{ mm}) \quad (10)$$

$$d_1 = 20 \text{ mm} \quad (10)$$

### 7.2.2.2. Calculo para el alma en la zona de extrusión

$$d_3 = D - (2 * h_3) \rightarrow d_3 = 32 \text{ mm} - (2 * 1,9 \text{ mm}) \quad (11)$$

$$d_3 = 28,2 \text{ mm} \quad (11)$$

### 7.2.3. Cálculo para ancho de canal

La fórmula para el ancho del canal es la siguiente:

$$w = (0,8 / 1,2) * D \quad (12)$$

El factor de multiplicación oscila entre 0,8 y 1,2 para multiplicar el diámetro, para este caso se escogerá el factor 1,2.

$$w = (1,2) * 32 \text{ mm} \rightarrow w = \mathbf{38,4 \text{ mm}} \quad (12)$$

### 7.2.4. Cálculo para filete

La fórmula para el filete es la siguiente:

$$e = (0,06 / 0,1) * D \quad (13)$$

El factor de multiplicación oscila entre 0,06 y 0,1 para multiplicar el diámetro, para este caso se escogerá el factor 0,1.

$$e = (0,1) * D \rightarrow e = \mathbf{3,2 \text{ mm}} \quad (13)$$

Los valores encontrados son acertados ya que no logran superar los valores de la **Figura 6**, el valor del filete dio un resultado diferente al tabulado, pero se mantiene correcto.

### 7.2.5. Cálculo para el número de filetes

$$N_{FILETES} = \frac{L}{D} \rightarrow N_{FILETES} = \frac{768 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} \quad (14)$$

$$N_{FILETES} = 24 \text{ filetes} \quad (14)$$

### 7.2.6. Resumen de parámetros geométricos calculados

A continuación, se mostrarán los parámetros geométricos calculados para el husillo en la tabla 3.

**Tabla 3**

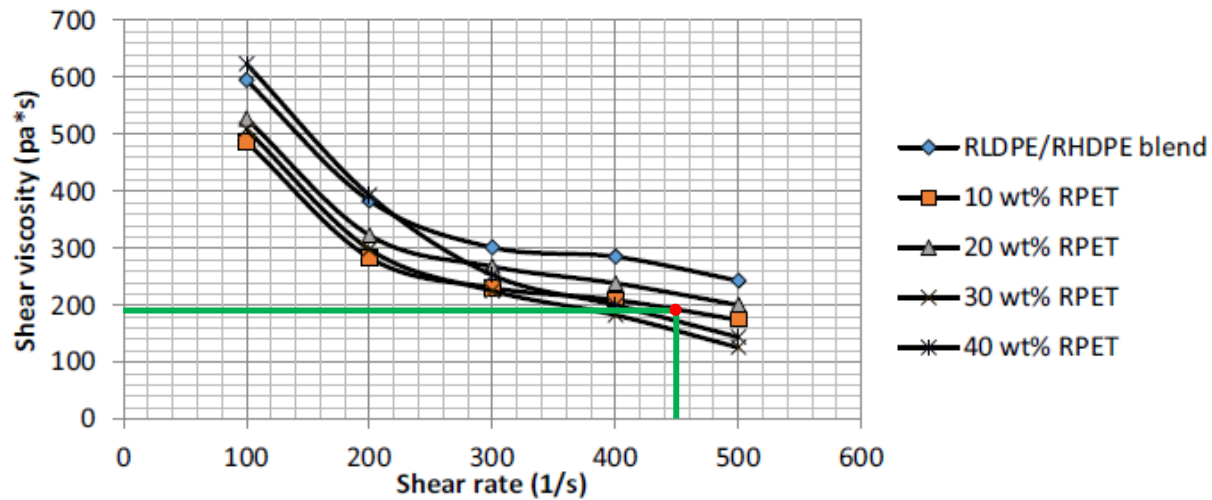
Parámetro	Símbolo	Magnitud
Angulo de hélice del canal	$\varphi$	17,66 °
Diámetro del husillo	$D$	32 mm
Longitud del husillo	$L$	768 mm
Longitud de la zona de alimentación	$L_A$	320 mm
Longitud de la zona de compresión	$L_C$	24 mm
Longitud de la zona de dosificación	$L_E$	416 mm
Ancho de canal	$w$	38,4 mm
Filete	$e$	3,2 mm
Número de filetes	$N_{FILETES}$	24
Alma en la zona de alimentación	$d_1$	20 mm
Alma en la zona de dosificación	$d_3$	28,2 mm

### 7.2.7. Viscosidad aparente

A continuación, se demostrará la viscosidad aparente, donde se denotará el valor según la gráfica establecida (autor) a una temperatura de 210°C para un RPET 10 wt%.

**Figura 10**

Shear viscosity vs. Shear rate



*Nota.* Ilustración de los parámetros gráficos en grafica de Shear viscosity vs. Shear rate para un rPET 20 wt% a 210° C. Tomado de *Universidad Autónoma de Occidente (2008). Jabir, R. K., Hadi, N. J., & Al-Zubiedy, A. A. A. (2020). Rheological and Mechanical Investigation of PET, LDPE and HDPE Wastes Blended for Re-Use in Bio-Pipes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 987(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/987/1/012006>*

Se elegirá como “**shear rate 450 (1/s)**”, se traza una recta hasta la tocar la curva correspondiente a el rPET 20 wt%, a partir del punto rojo se traza una recta horizontal hasta llegar al eje correspondiente del “**shear viscosity (pa\*s)**”. El valor que se obtiene es de **190 pa\*s**.

La viscosidad aparente la representaremos de la siguiente forma:

$$u_a = 190 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$u_a = 1.9 \cdot 10^{-4} \text{ MPa} \cdot \text{s}$$

### 7.2.8. Velocidad de giro del husillo

La velocidad de giro del husillo será un elemento necesario para calcular diversos componentes, la fórmula para calcular las RPM es la siguiente:

$$N = \frac{Q}{2,3 * D^2 * d_3 * g} \quad (15)$$

Donde:

$N =$  velocidad de girto del husillo (RPM)

$$Q = \text{caudal} \left( 10,525 \frac{kg}{hr} \approx 23,204 \frac{lb}{hr} \right)$$

$D =$  diametro del husillo (32 mm  $\approx$  1,26 pulg)

$h_3 =$  altura del filete en la zona de extrusión (1,9 mm  $\approx$  0.0748 pulg)

$$g = \text{gravedad especifica} \left( 0,935 \frac{gm}{cm^3} \right)$$

2,3 = factor de conversión

Entonces, se reemplazan los valores identificados anteriormente en la ecuación 14.

$$N = \frac{23,204 \frac{lb}{hr}}{2,3(1,26 \text{ pulg})^2 * 0,0748 \text{ pulg} * 0,935 \frac{gm}{cm^3}} \quad (15)$$

$$N = 90,86 \text{ RPM} \quad (15)$$

$$N = 90,86 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{rev} * \frac{1 min}{60 seg} \quad (15)$$

$$N = 9,51 \frac{rad}{s} \quad (15)$$

### 7.2.9. Presión

La presión se calculará con la siguiente ecuación

$$P = \frac{6 \cdot \pi \cdot u_a \cdot L \cdot D \cdot N \cdot \cot \varphi}{h_2} \quad (16)$$

$$P = \frac{6 \cdot \pi \cdot 1.9 \cdot 10^{-4} \text{ MPa} \cdot \text{s} \cdot 768 \text{ mm} \cdot 32 \text{ mm} \cdot 9,51 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \cot 17,66^\circ}{(2,05 \text{ mm})^2} \quad (16)$$

$$P = 624,86 \text{ MPa} \quad (16)$$

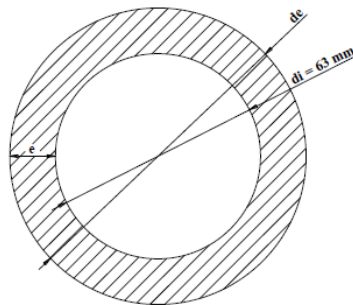
### 7.2.10. Diámetro del cilindro

El diámetro del cilindro será en un acero AISI -SAE 4140. Para el cálculo del diámetro exterior del cilindro se deberá encontrar el espesor adecuado para la presión que se generará al interior del cilindro. En la imagen 11 se ilustrará lo propuesto.

El espesor del cilindro se propone de pared gruesa, pues al interior este elemento deberá soportar una presión de 624,86 MPa.

#### Figura 11

Ilustración para espesor de cilindro



*Nota.* Ilustración para el espesor con relación del diámetro interior y el diámetro exterior. Tomado de Cumbajin, B & Vásquez, M. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD LDPE DE 25 kg /h.* Universidad Politécnica Salesiana.

La ecuación necesaria para determinar el espesor del cilindro está expresada de la siguiente forma: (Cumbajin & Vásquez, 2013)

$$e = r_i \left\{ 1 - \frac{\sqrt{2P}}{\sigma_T - 2P} \right\} \quad (17)$$

Donde:

$e =$  espesor de pared (mm)

$r_i =$  radio interno (16 mm)

$P =$  presión (624,86 MPa)

$\sigma_T =$  esfuerzo máximo de fluencia del material (1050 MPa)

$$e = 16 \text{ mm} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{2(624,86 \text{ MPa})}}{1050 \text{ MPa} - 2(624,86 \text{ MPa})} \right\} \quad (17)$$

$$e = 16 \text{ mm} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{2(624,86 \text{ MPa})}}{1050 \text{ MPa} - 2(624,86 \text{ MPa})} \right\} \quad (17)$$

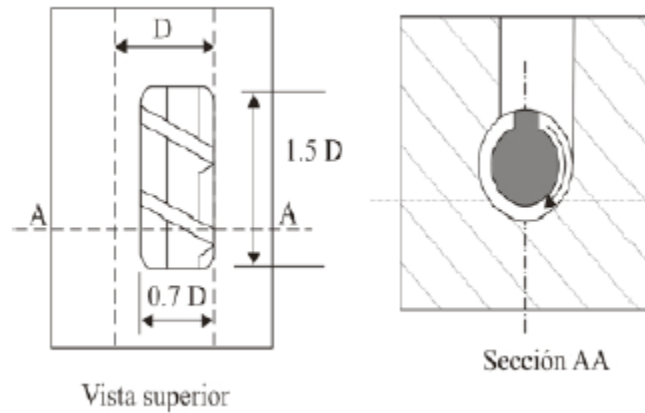
$$e = 18,83 \text{ mm} \approx 19 \text{ mm} \quad (17)$$

### 7.2.11. Garganta de alimentación

La garganta de alimentación es la conexión entre la tolva y el interior del cilindro, en esta posición estará girando el husillo y comenzará a transportarlo por la zona de alimentación del husillo.

**Figura 12**

Dimensiones para la garganta de alimentación.



*Nota.* Ilustración para el cálculo de la garganta de alimentación. Tomado de *Cumbajin, B & Vásquez, M. (2013). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD LDPE DE 25 kg /h. Universidad Politécnica Salesiana.*

El cálculo para cada parte de la garganta de alimentación será dado por las siguientes ecuaciones:

$$L_G = 1,5 \times D \quad (18)$$

$$An_G = 0,7 \times D \quad (19)$$

Donde:

$L_G =$  longitud (mm)

$An_G =$  ancho de la garganta (mm)

$D =$  diametro del husillo (mm)

$$L_G = 1,5 \times 32 \text{ mm} \quad (18)$$

$$L_G = 48 \text{ mm} \quad (18)$$

$$An_G = 0,7 \times 32 \text{ mm} \quad (19)$$

$$An_G = 22,4 \text{ mm} \quad (19)$$

### 7.2.12. Tolva de alimentación

La tolva de alimentación estará diseñada en base a la garganta de alimentación calculada en la sección 8.2.11. La altura será hallada con la fórmula que proponen Cumbajin & Vásquez, 2013. En esta ecuación se relacionarán el diámetro superior de la tolva, el diámetro inferior y un ángulo predeterminado para dar caída a el material a procesar, a partir de esto se podrá hallar la altura.

$$h_{TA} = \left( \frac{d_{EXT} - d_{INT}}{2} \right) * \tan(\alpha) \quad (20)$$

Los diámetros se asignarán según el criterio del autor y se mantendrá en relación con todas las dimensiones de la maquina en general. El ángulo será en base a lo propuesto por proponen Cumbajin & Vásquez, 2013 donde mencionan que el ángulo indicado es de 60°.

$$h_{TA} = \left( \frac{200 \text{ mm} - 48 \text{ mm}}{2} \right) * \tan(60^\circ) \quad (20)$$

$$h_{TA} = 131,64 \text{ mm} \quad (20)$$

La forma de la tolva en su parte superior será cuadrada, se unirá con la parte superior de la garganta de alimentación y se podrá fabricar en un acero con espesor de lámina de **3 mm**.

### **7.2.13. Cabezal**

El cabezal será un elemento que permitirá una conexión entre el fluido dosificado y la malla o boquilla de extrusión, las dimensiones y geometrías serán denotadas en la planimetría que se presentará al final. El diseño de la boquilla será bajo criterio del autor.

### **7.2.14. Malla o boquilla de extrusión.**

La boquilla de extrusión será diseñada por criterio del autor y se tendrá como intención lograr extruir diferentes filamentos. Por efecto de diseño la boquilla contará con 15 cavidades, por ende, se podrán extruir 15 filamentos de forma simultánea. Este elemento se diseña con posibilidad de cambio y/o modificaciones, se anclará con sujetadores que permitirán un cambio rápido y seguro.

### **7.2.15. Columna de apoyo**

Este componente se encargará de soportar el husillo y el cilindro/camisa. Es de vital importancia pues deberá soportar el peso y las cargas generadas en el sistema tras comenzar el giro que proviene de una moto reductora.

### **7.2.16. Base**

La base será un componente encargado de soportar toda la estructura y componentes. Allí se podrán posicionar los sistemas de control, además este componente posee elementos que ayudarán a soportar la camisa/cilindro.

### 7.2.18. Selección de resistencias

La selección de las resistencias estará sujeta al tipo más usado en la industria de extrusión y peletizado de plásticos, con mayor enfoque a la extrusión de PET. Según Cumbajin & Vásquez, 2013 el tipo de resistencias más adecuado para máquinas peletizadoras son las resistencias tipo abrazadera, las dimensiones establecidas por el autor para ubicar las resistencias son las siguientes:

- *Diametro = 36 mm*
- *Longitud = 70 mm*

#### Figura 13

Resistencias tipo abrazadera



*Nota. Ilustración de resistencias tipo abrazadera. Tomado de Resistencias de abrazadera. Julio Martinez Naya S.A. <https://juliomartineznaya.com/resistencias-de-abrazadera/>*

### 7.2.20. Elementos de medición para temperatura

Para esta peletizadora el autor define como herramienta para medición de temperatura tres termopares o termocuplas el tipo J. La cantidad de las termocuplas va en relación con las diferentes zonas y la cantidad de resistencias eléctricas tipo abrazadera que se encargarán de mantener el material en temperaturas óptimas para el proceso de extrusión.

#### Figura 14

Termocupla tipo J



*Nota.* Ilustración de termocupla tipo J. Tomado de *TERMOCUPLA O TERMOPAR TIPO J.* Electro Sylvania. [https://electrosylvania.co/portfolio\\_page/termopar-tipo-j/](https://electrosylvania.co/portfolio_page/termopar-tipo-j/)

## VIII. CONCLUSIONES

Las maquinas peletizadoras son herramientas que permitan procesar materiales de diferentes tipos; incluyendo polímeros reciclados, como lo es el enfoque de esta tesis. Estas máquinas poseen eficiencias altas y pueden llegar a procesar altas magnitudes de material, de este modo se logra impactar el desecho de plásticos con posibilidad de dar un segundo uso. Sin embargo, es de recalcar que la industria de la peletización o extrusión de polímeros como cualquier industria cuenta con índices de calidad, para ello es necesario hacer mezclas entre materiales poliméricos reciclados y materiales polímeros en estado virgen, tal como se ilustra en la figura 10, de esta forma se podrán obtener materiales extruidos de altas calidades.

El implemento de máquinas que permitan reciclar plásticos, es de vital importancia en la actualidad, por eso, la Institución Universitaria Pascual Bravo siguiendo los lineamientos de proyección futura debe comenzar a dar mayor visibilidad a proyectos que permitan aprovechar algunos tipos de desechos al interior de la Institución, es por ello que esta tesis permite dimensionar el impacto que una maquina a pequeña escala podría llegar a impactar, permitiendo así que Pascual Bravo se visibilice como una Institución autónoma y con un funcionamiento circular en los alcances posibles.

Bajo la ejecución de esta tesis se lograron hacer dimensionamientos para una máquina capaz de procesar **50,52 Kg/día** en un periodo de **5 horas/día**. Se realizaron los respectivos cálculos conceptuales y se presentaron los respectivos planos de elementos o componentes de la máquina peletizadora. Los planos de detalle sobre cada componente se encontrarán en la sección **X. Anexos**, allí se podrá comprender la maquina con su respectivo ensamble.

## IX. REFERENCIAS

Ondarse, A, Dianelys (2021). Polímeros. Recuperado el 15 de Mayo de 2024.

<https://concepto.de/polimeros/>

PCM Staff (2023). ¿Qué es una máquina peletizadora de plástico?.

<https://www.pcm.com.mx/learning-center/que-es-una-maquina-peletizadora-de-plastico>

Gómez, F, Eva (2021). Guía básica para identificar los diferentes tipos de plástico.

[https://www.elconfidencial.com/medioambiente/empresa/2021-08-13/tipos-de-plastico-envases-polimeros\\_3203784/#:~:text=PET%20\(polietilen%20tereftalato\),importante%2C%20es%20100%25%20reciclable.](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/empresa/2021-08-13/tipos-de-plastico-envases-polimeros_3203784/#:~:text=PET%20(polietilen%20tereftalato),importante%2C%20es%20100%25%20reciclable.)

Carlos, P. I., & Flores, E. (n.d.). *POLÍMEROS VS. PLÁSTICOS*.

Polimer Tecnic (6 de abril de 2016). Origen del plástico.

<https://www.polimertecnic.com/origen-del-plastico/>

Lopez, Francisca (2019). Mezcla experimental para la obtención de un polímero a partir de fibras naturales avícolas.

[https://villahermosa.tecnm.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio\\_de\\_tesis\\_2014-2020/Tesis%20Francisca%20L%C3%B3pez%20Cordova.pdf](https://villahermosa.tecnm.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio_de_tesis_2014-2020/Tesis%20Francisca%20L%C3%B3pez%20Cordova.pdf)

Franco, Humberto (5 de diciembre de 2018). Obtención y caracterización de un polímero obtenido a partir del monómero.

[https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/84542/1/TG02220.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/84542/1/TG02220.pdf)

Plastic 85 (noviembre de 2021). ¿De dónde sale el plástico?.<https://plastic85.com/donde-sale-el-plastico/>

BMI Machines (sf).<https://www.bmimachines.com/paso-a-paso-como-se-fabrica-una-botella-de-pet/?cn-reloaded=1>

Sanchez, Alicia (sf). El impacto de reciclar PET.<https://www.klarea.mx/blog/el-impacto-de-reciclar-el-pet#:~:text=Los%20envases%20de%20material%20sintetico,es%20significativo%20para%20el%20ambiente.>

Aquae Fundación (22 de enero de 2021). La isla basura del océano Pacífico. Recuperado el 26 de mayo de 2024 <https://www.fundacionaquae.org/wiki/alarmante-aumento-de-la-isla-de-basura/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia [MADS]. (16 de junio de 2021). Colombia aspira a que en 2030 el 100 % de los plásticos de un solo uso del mercado sean reutilizables o compostables. <https://www.minambiente.gov.co/colombia-aspira-a-que-en-2030-el-100-de-los-plasticos-de-un-solo-uso-del-mercado-sean-reutilizables-o-compostables/>

Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo (Julio de 2008). c

Orlando, E., Vélez, T., Fabricio, B., Sinche, C., & -Ecuador, R. (2014). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO INGENIERO QUÍMICO*.

Alberto, R., & Araujo, M. (n.d.). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA MAQUINA PELETIZADORA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ANIMAL*.

Gutierrez - Jimmy Bornacelli, P. (2006). Metodología para el diseño de Tornillos de Maquinas Extrusoras Monohusillos.

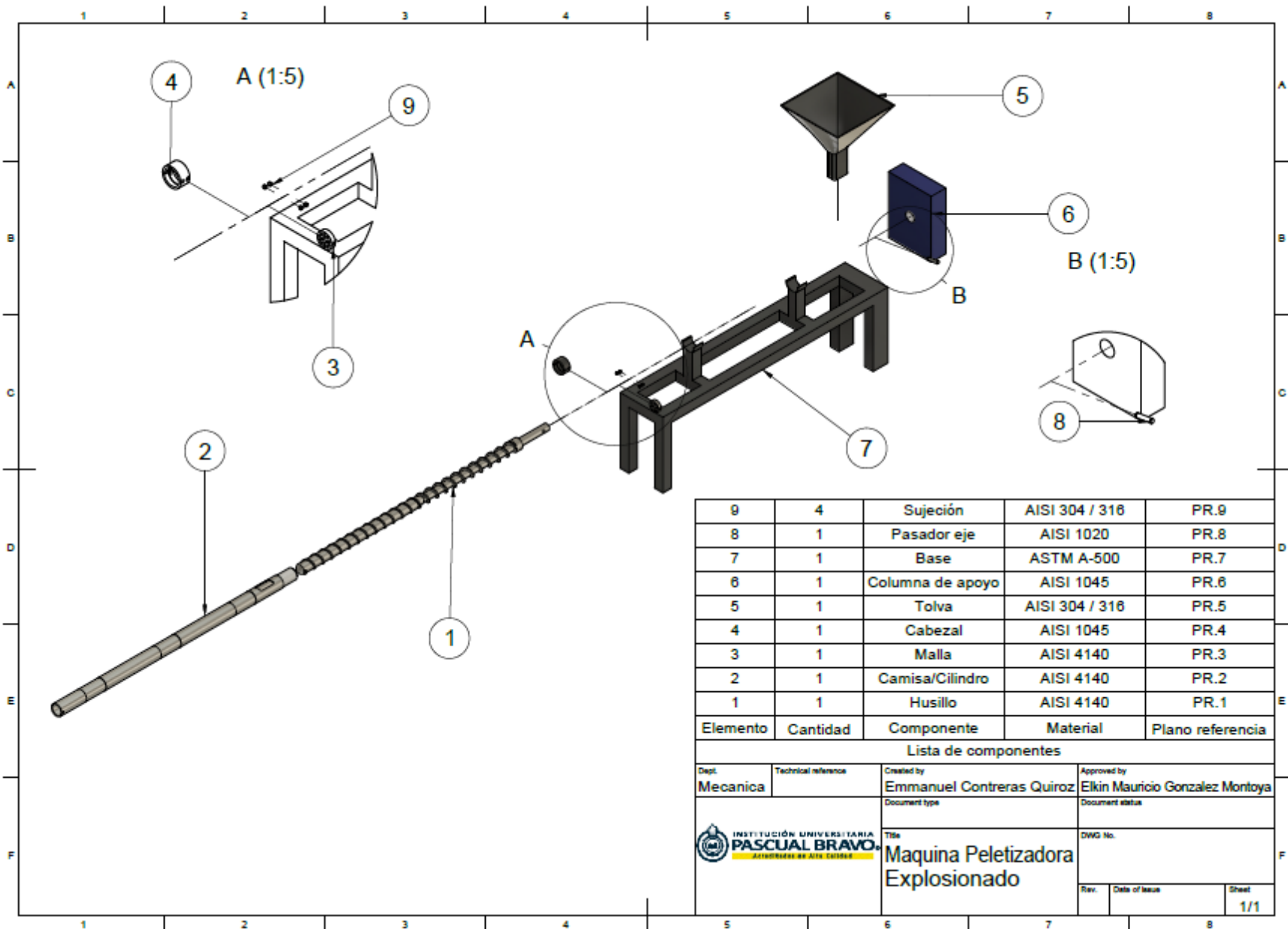
Savgorodny V. (1973). Transformación de plásticos. Gustavo Gili S.A.

Carlos, P. I., & Flores, E. (n.d.). *POLÍMEROS VS. PLÁSTICOS*.

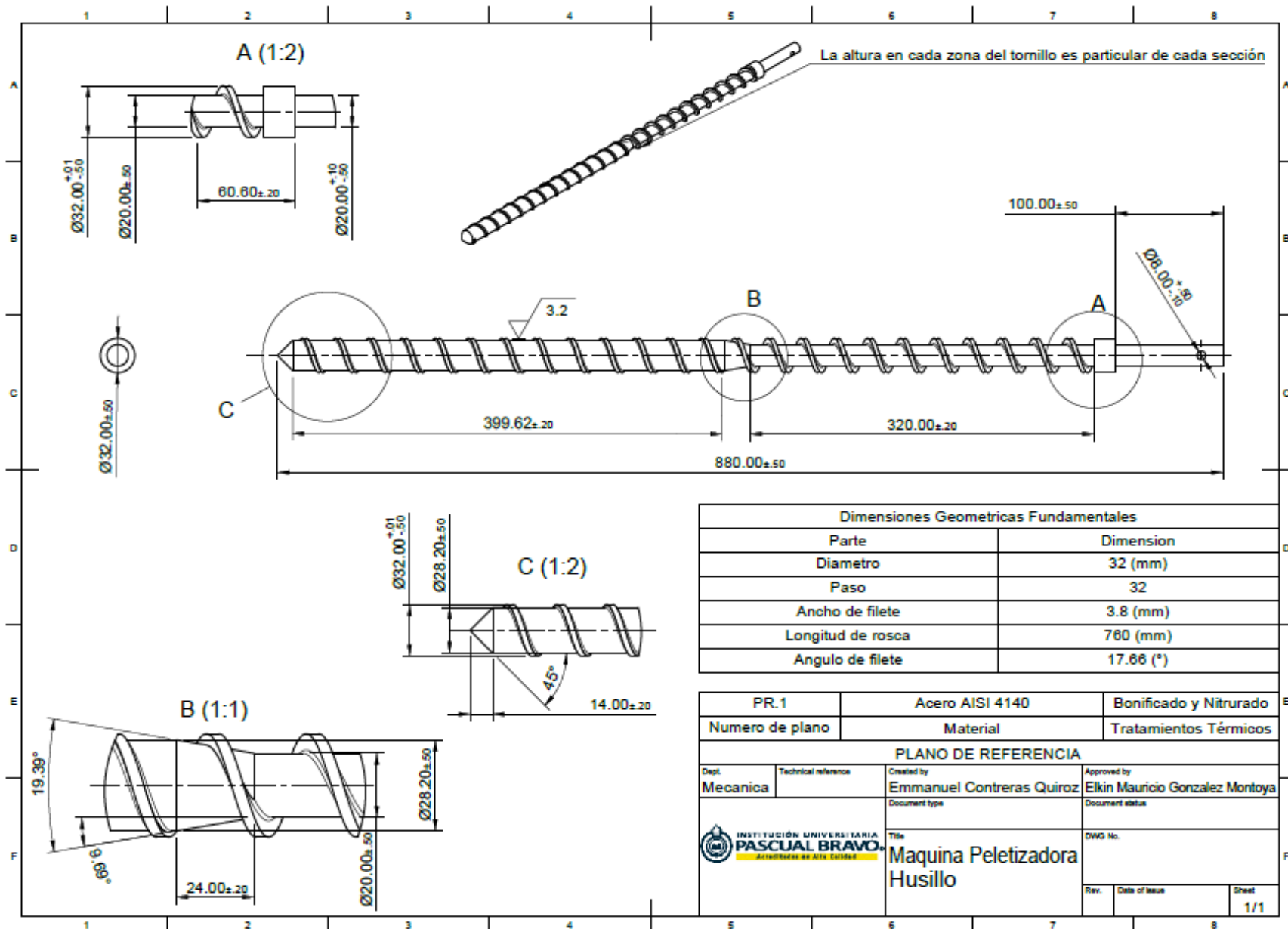
- Orlando, E., Vélez, T., Fabricio, B., Sinche, C., & -Ecuador, R. (2014). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO INGENIERO QUÍMICO*.
- Luque, T., Mateo, A., Castro Valdivia, I., & Luis, J. (2020). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO PARA FABRICACIÓN DE PALLETS PARA LA EMPRESA ENVASADORA MAJES E.I.R.L.*
- Jabir, R. K., Hadi, N. J., & Al-Zubiedy, A. A. A. (2020). Rheological and Mechanical Investigation of PET, LDPE and HDPE Wastes Blended for Re-Use in Bio-Pipes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 987(1).  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/987/1/012006>
- Akbari, M., Zadhoush, A., & Haghigat, M. (2007). PET/PP blending by using PP-g-MA synthesized by solid phase. *Journal of Applied Polymer Science*, 104(6), 3986–3993. <https://doi.org/10.1002/app.26253>
- Yesil, S. (n.d.). Processing and characterization of carbon nanotube based conductive polymer composites. <https://www.researchgate.net/publication/45361027>
- Cumbajin, B & Vásquez, M. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD LDPE DE 25 kg /h.* Universidad Politécnica Salesiana.
- Recuperado (2025). *TERMOCUPLA O TERMOPAR TIPO J.* Electro Silvania.  
[https://electrosilvania.co/portfolio\\_page/termopar-tipo-j/](https://electrosilvania.co/portfolio_page/termopar-tipo-j/)
- Recuperado (2025). *Resistencias de abrazadera.* Julio Martinez Naya S.A.  
<https://juliomartineznaya.com/resistencias-de-abrazadera/>

## **X. ANEXOS**

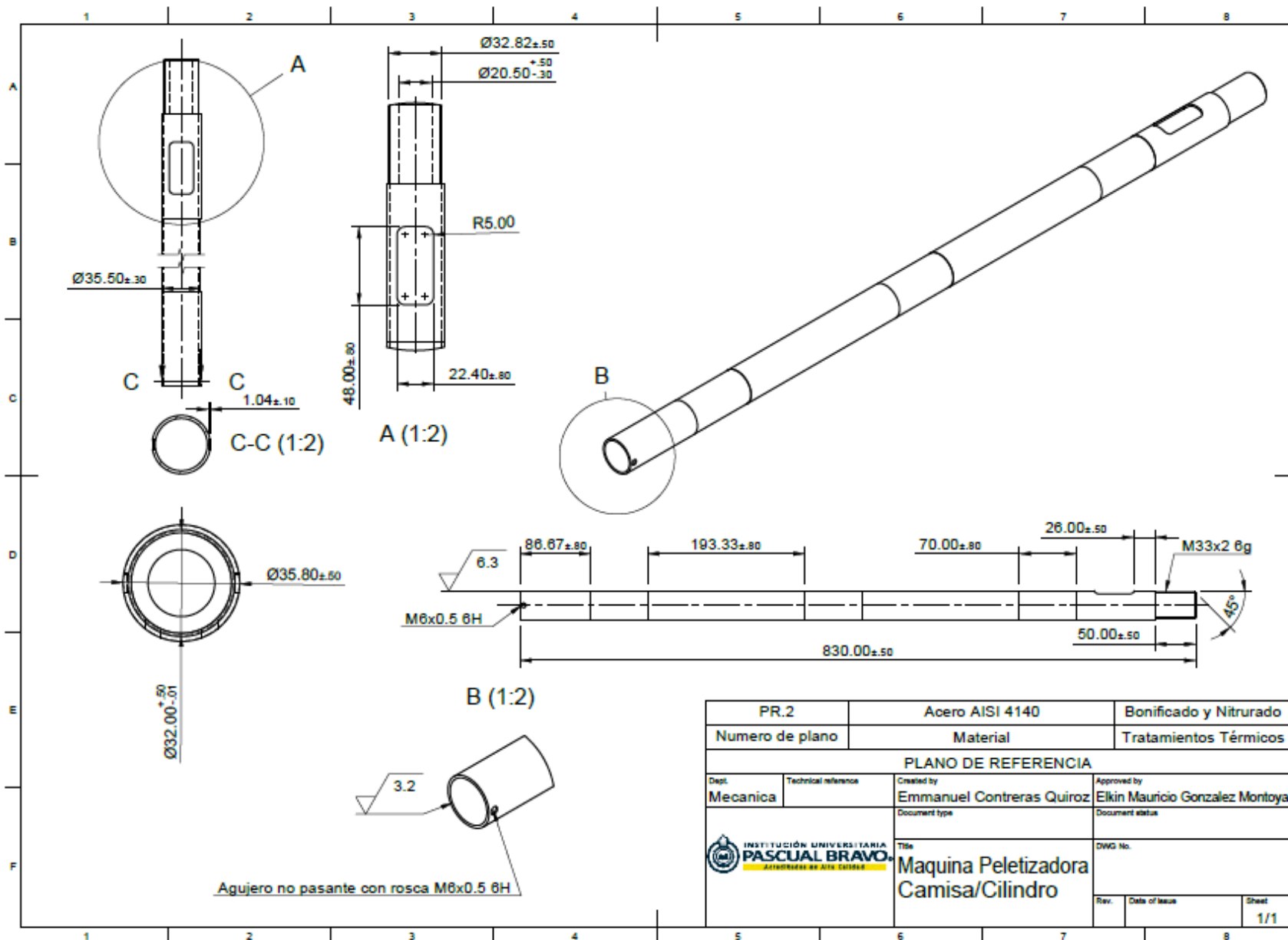
### 10.1. Explodonado




## 10.2. Husillo

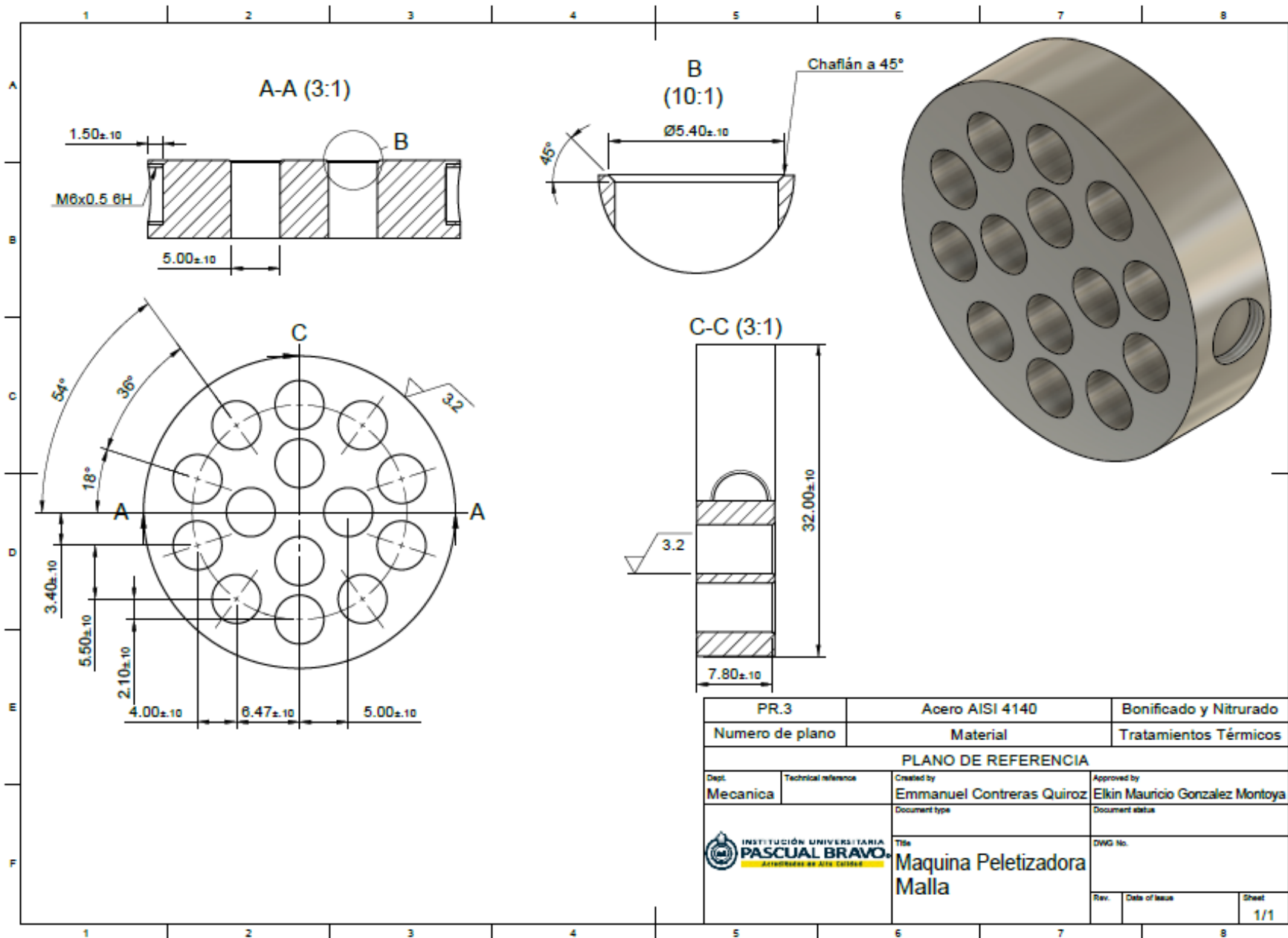


### 10.3. Camisa

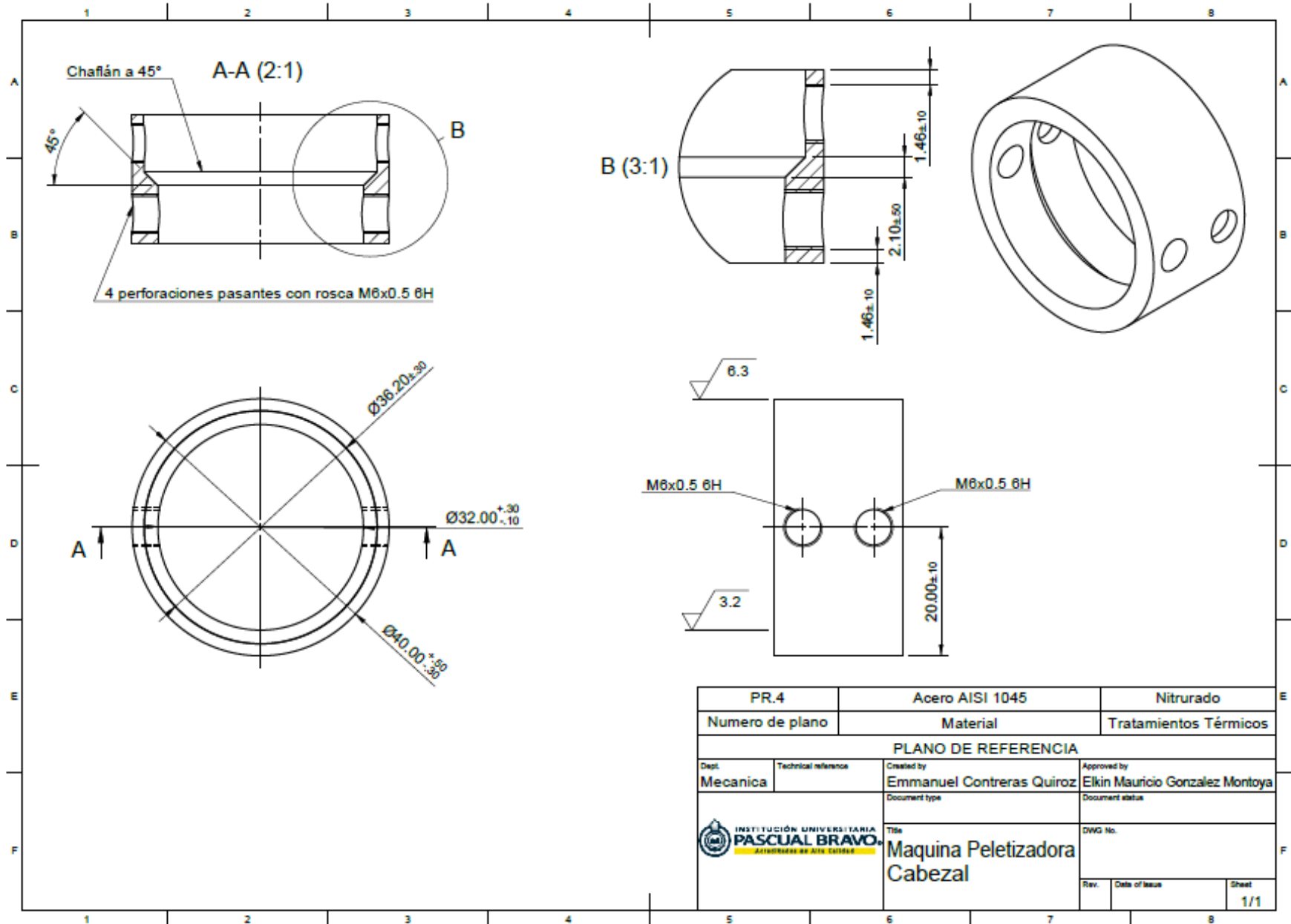


PR.2	Acero AISI 4140	Bonificado y Niturado
Numero de plano	Material	Tratamientos Térmicos
<b>PLANO DE REFERENCIA</b>		
Dept. Mecanica	Technical reference	Created by Emmanuel Contreras Quiroz
		Approved by Elkin Mauricio Gonzalez Montoya
		Document type
		Document status
 <b>INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO</b> <small>ASOCIACIÓN DE ALTA COLECCIÓN</small>		DWG No.
<b>Maquina Peletizadora Camisa/Cilindro</b>		Rev.
	Date of issue	Sheet 1/1

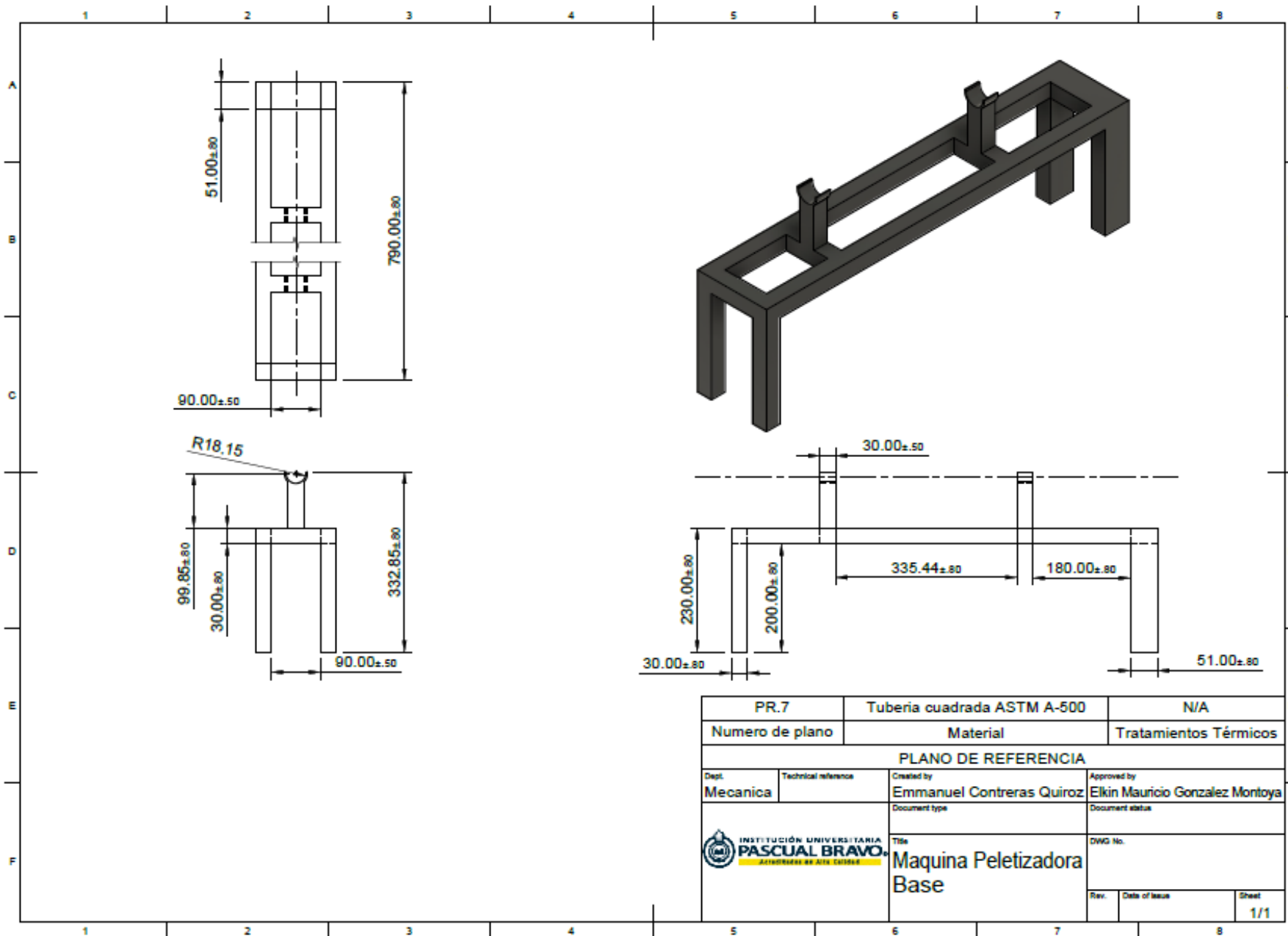
### 10.4. Malla



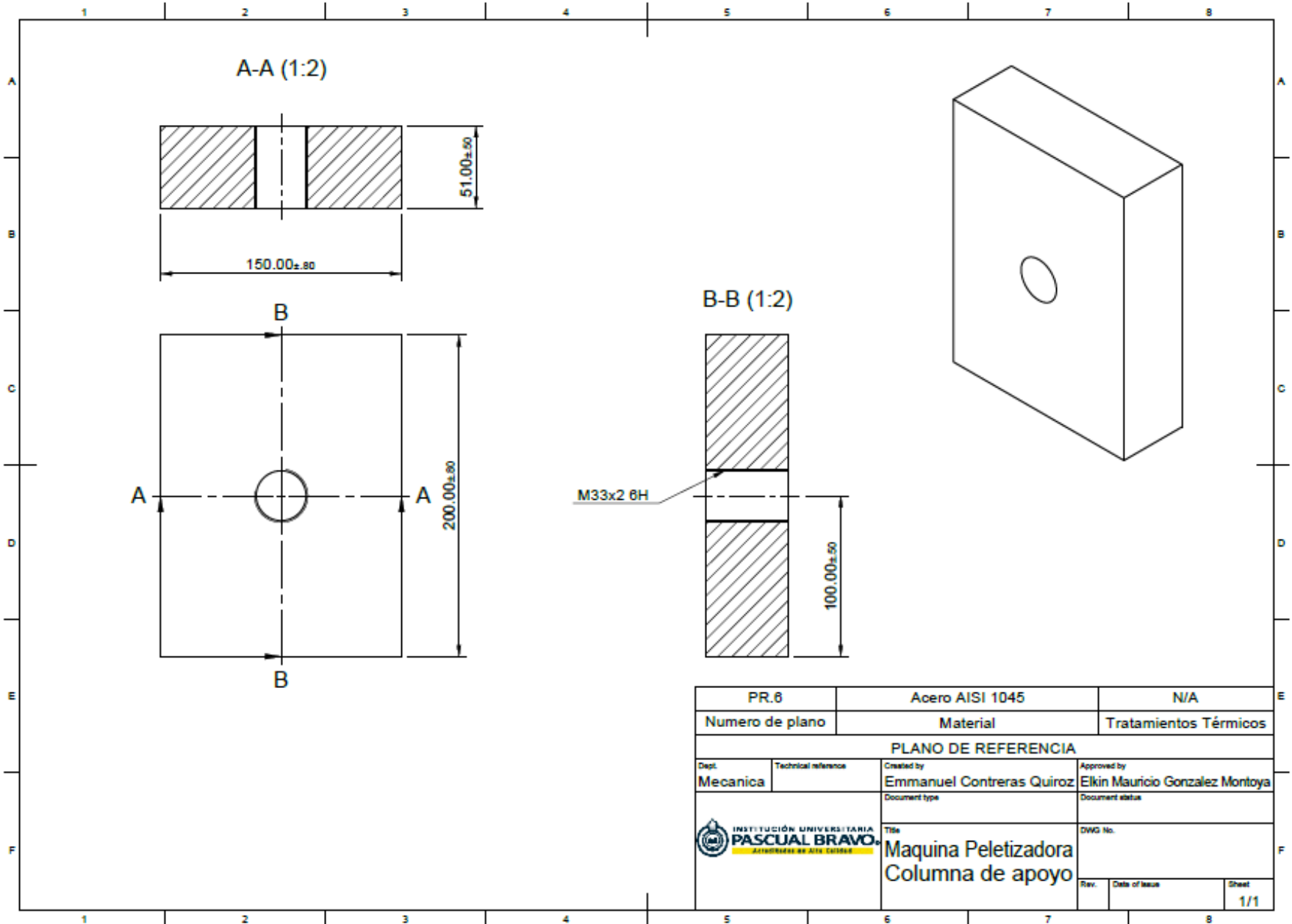
## 10.5. Cabezal



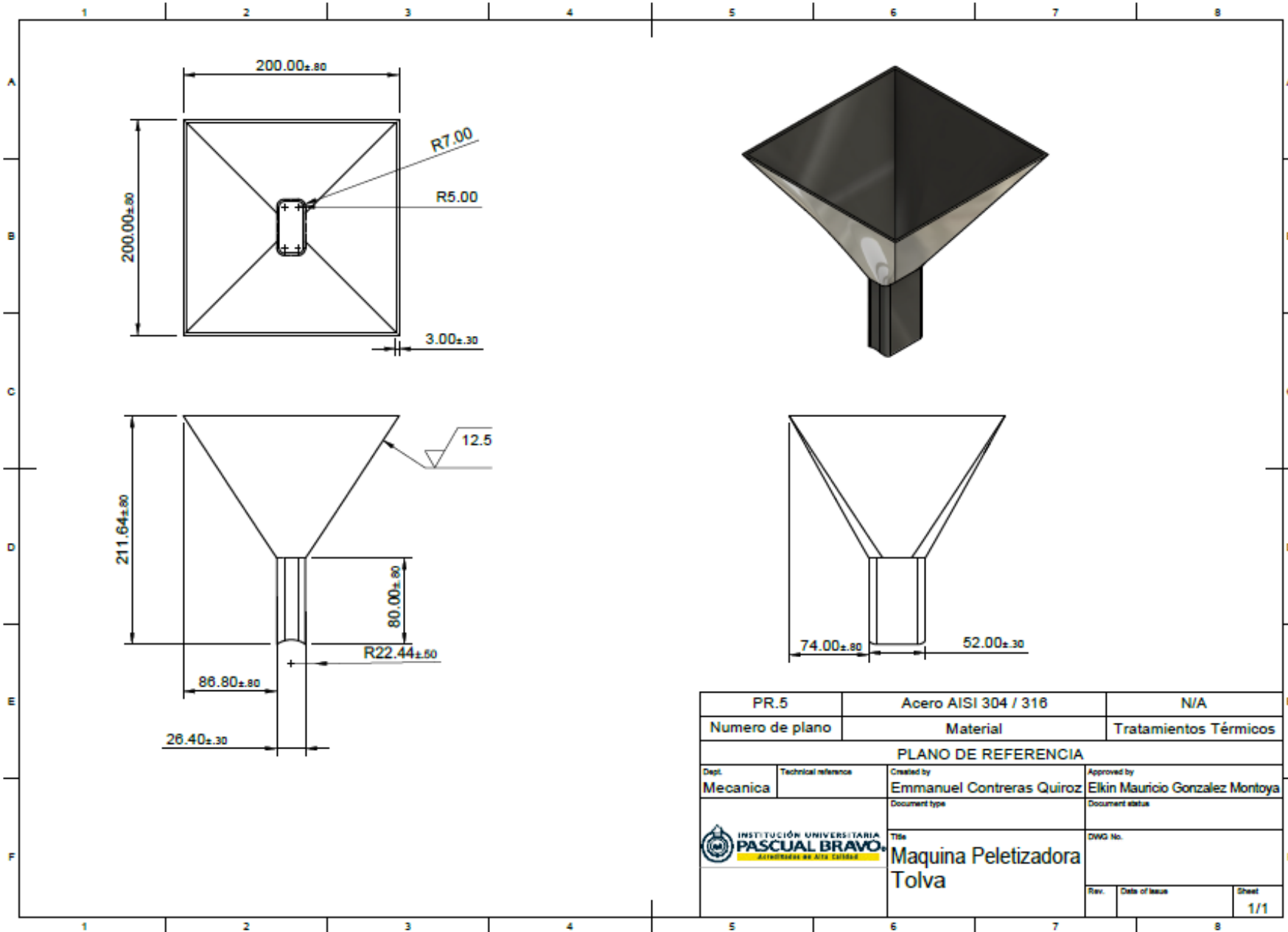
### 10.6. Base



### 10.7. Columna de apoyo



# 10.8. Tolva



## 10.9. Sujeción

